

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**MODELAÇÃO ANALÍTICA DA EROSÃO DE PRAIAS
POR TEMPESTADE**

Teresa Maria Teixeira Bastos Vaz e Gala

Dissertação

Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento
do Território

2015

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**MODELAÇÃO ANALÍTICA DA EROSÃO DE PRAIAS
POR TEMPESTADE**

Teresa Maria Teixeira Bastos Vaz e Gala

Dissertação orientada por

Prof. Doutor Rui Pires de Matos Taborda

**Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento
do Território**

2015

O melhor espírito de sacrifício é a perseverança no trabalho começado: quando se faz com entusiasmo e quando nos custa.

(S. Josemaria)

A presente dissertação não está redigida segundo as normas do novo acordo ortográfico.

Agradecimentos

Quero agradecer:

Em primeiro lugar ao Professor Doutor Rui Taborda, meu orientador, pelo apoio que me deu durante este tempo. Agradeço todas as sugestões e críticas que contribuíram para um melhor trabalho;

Ao Doutor João Cascalho pela sua ajuda tanto no campo, como na análise dos dados. Pela sua disponibilidade, apoio e preocupação pelo avanço do trabalho;

Ao Professor Doutor César Andrade, por todos os conhecimentos que me transmitiu, pelo seu apoio tanto na cedência de documentos importantes para a realização desta dissertação, como nas sugestões que me foi fazendo;

Ao Instituto Hidrográfico pela amável cedência de informação necessária à resolução de problemas que foram surgindo no tratamento dos dados das marés.

A toda a equipa de investigação, de modo especial à Mafalda por todas as palavras de ânimo, apoio na resolução de problemas, fornecimento de dados importantes para a realização deste trabalho e por se ter disponibilizado para uma última leitura e crítica à tese (muito obrigada Mafalda); à Ana Silva, pela paciência e ajuda dispensada, mesmo quando tinha uma defesa de tese para preparar (e um bebé a caminho); à Cristina, por me ter fornecido dados importantes para este trabalho e pela ajuda que me deu nas análises de dados; à Ana Bastos, pela passagem de ficheiros necessários e importantes para um melhor enquadramento das áreas de estudo; à Mónica pelo apoio no campo e na faculdade, pela cedência de dados importantes. Pela constante preocupação demonstrada pelo avanço do trabalho; à Paula pelo apoio e palavras de ânimo; à Zenaida pela ajuda no campo; à Ivana pelo apoio. A todas um muito obrigada;

À Vera, pelas palavras animadoras e apoio. Por me ter puxado para cima quando precisei;

Aos meus colegas João Dias e João Hermínio pelo apoio nos trabalhos de campo e cedência de informação;

À Ricardina (4_4) pelo seu apoio na fase final do mestrado;

À Inês e à Maria, que mais que colegas de curso foram, e são, grandes amigas, com todas as consequências que este título confere. Percorremos este caminho juntas do qual nos devemos orgulhar. Agradeço: toda a paciência que tiveram comigo; os “sermões” que

Agradecimentos

me davam quando achava que tudo estava a correr mal; e que sempre me puxaram para cima; a ajuda na elaboração desta dissertação. Sem elas teria sido impossível chegar ao fim. Obrigada por serem um verdadeiro apoio, por não me terem deixado desistir. Obrigada pela vossa amizade;

À Daniela, pela sua amizade, por todo o apoio incondicional que me tem demonstrado. Pelas mensagens e palavras de ânimo nos momentos de desespero, por não me deixar desistir, por acreditar que eu era capaz. Por me apoiar em todas as minhas decisões. Obrigada Dani;

Aos meus pais, que sempre foram uma grande referência para mim de alguém que sabe trabalhar e trabalha bem! Por me darem todo o seu apoio. Agradeço também aos meus irmãos e irmãs por não me deixarem desistir desta batalha; por confiarem em mim; aos meus avós (Luís, Acílio e Ilda) por toda a preocupação que demonstraram pelo avanço deste trabalho;

A todas as pessoas que me apoiaram e ajudaram a terminar bem este trabalho.

Resumo

A erosão costeira, que se traduz na tendência de recuo da linha de costa, é um processo de evolução que tem vindo a aumentar, trazendo como consequência directa a redução da área das praias e a destruição das dunas. Estas últimas constituem, muitas vezes, uma linha de defesa natural contra a acção das ondas durante as tempestades. À erosão costeira, e em particular à erosão das dunas, pode associar-se a destruição do património construído e mesmo conduzir a perdas de vida humana por vezes agravada por eventos de inundação e galgamento oceânico. Torna-se pois importante e necessário prever qual o impacto das tempestades sobre as dunas em termos de recuo e volume erodido.

O principal objectivo desta dissertação é a quantificação da erosão do perfil de praia provocada pelas tempestades marítimas. Para tal foram analisados três modelos analíticos: modelo de Edelman; modelo de Kriebel & Dean; e modelo de Larson *et al.* Destes modelos conclui-se que o mais adequado para aplicação à costa portuguesa é o de Larson *et al.* pois é o único que contempla directamente o efeito da maré. O nível da maré tem uma grande importância no cálculo da erosão durante uma tempestade, pois se esta ocorre em preamar o nível do mar será maior e, conseqüentemente, a altura das ondas e o seu alcance sobre o perfil de praia serão também maiores tal como os seus efeitos.

A aplicação dos modelos de erosão dunar às tempestades do inverno de 2014 na praia da Foz do Lizandro revelou que para o intervalo entre Janeiro-Fevereiro o valor determinado pelo modelo de Edelman é relativamente próximo do observado enquanto os valores estimados pelos outros modelos são claramente superiores. Relativamente ao intervalo de Fevereiro-Março verifica-se que o valor determinado tanto pelo modelo de Kriebel & Dean como pelo modelo de Larson *et al.* se aproximam muito do valor acumulado para o recuo da base da duna.

Palavras-chave: erosão costeira; modelação analítica; perfil de equilíbrio; modelo de Larson; velocidade do espraio.

Abstract

Coastal erosion, which translates to the retreat of the coast line, it's an evolution process that has been increasing, bringing as direct consequence the reduction of the beach area and the destruction of dunes. The former often constitute a line of natural defense against the action of the waves during storms. Coastal erosion, and in particular dune erosion, can be associated with the destruction of buildings and even lead to the loss of human lives, sometimes aggravated by flood events and overtopping. Therefore it becomes important and necessary to predict the impact of storms on dunes regarding the retreat and the eroded volume of the dune.

The main objective of this dissertation is to quantify the erosion of the beach profile triggered by marine storms. Three analytic models were analyzed: Edelman's model; Kriebel and Dean's model and Larson et al. model. From these models the most adequate for application on the portuguese coast is Larson et. al model, because this is only one that directly contemplates the tide effect. The tide level has a great importance in the calculation of the erosion during a storm, because if it occurs during high-tide the sea level will be higher and, consequently, the wave height and its reach over the beach profile will also be higher just as their effects.

The application of the dune erosion models to the winter storms of 2014 in Foz do Lizandro beach revealed that between January and February the value determined by Edelman's model is relatively close to the observed one, whereas the estimated values by other models are clearly superior. Between February and March it can be seen that the values determined by Kriebel and Dean's model and Larson's model are very close to the total value for the retreat of the base of the dune.

Key-words: beach erosion; analytic modeling; equilibrium profile; Larson's model; swash velocity.

Índice geral

Agradecimentos	I
Resumo	III
Abstract.....	V
Índice geral.....	VII
Índice de figuras	XI
Índice de Tabelas	XVII
Introdução e objectivos	1
Capítulo I – Modelos analíticos aplicados à erosão dunar	3
1. Introdução	3
2. Modelos analíticos.....	4
2.1. Modelo de Bruun.....	4
2.2. Modelo de Edelman	8
2.3. Modelo de Kriebel & Dean.....	13
2.4. Modelo de Larson	16
3. Análise comparativa dos modelos.....	21
Capítulo II – Aplicação e validação em condições de baixa energia.....	23
1. Introdução	23
2. Metodologia	24
3. Enquadramentos	25
3.1. Enquadramento geográfico e características gerais	25
3.2. Enquadramento geológico	25
4. Agitação incidente.....	26
4.1. Agitação ao largo	26
4.2. Agitação junto à costa	28
4.3. Espraio	30
5. Marés.....	36
5.1. Maré Astronómica.....	36
5.2. Maré Observada	38

Índice geral

5.3. Sobreelevação Meteorológica	39
6. Topografia.....	41
7. Sedimentologia.....	47
8. Erosão dunar.....	49
9. Aplicação e validação do modelo de Larson <i>et al.</i>	57
9.1. Hidrodinâmica	57
9.2. Erosão dunar	61
Capítulo III – Aplicação e validação dos modelos em condições de tempestade	65
1. Temporal Christina	65
2. Temporal Stephanie	68
3. Aplicação e validação dos modelos.....	71
4. Enquadramentos	72
4.1. Enquadramento geográfico e características gerais	72
4.2. Enquadramento geológico.....	72
4.3. Enquadramento geomorfológico	73
5. Aplicação de modelos empíricos de erosão dunar.....	74
5.1. Medições no campo.....	74
5.2. Modelo de Edelman	77
5.3. Modelo de Kriebel & Dean.....	82
5.4. Modelo de Larson <i>et al.</i>	85
5.5. Síntese.....	87
Capítulo IV – Considerações finais.....	89
Lista de símbolos	91
Glossário.....	94
1.1. Linha de costa.....	94
1.2. Litoral	94
1.3. Maré.....	94
1.4. Orla costeira	95
1.5. Perfil de praia.....	95
1.6. Sobreelevação meteorológica	96
1.7. Zona costeira	96

Referências bibliográficas	98
Referências electrónicas	100
Anexo A – Registo da bóia ondógrafo de Leixões	101
Anexo B – Registos do transdutor	102
Anexo C – Caracterização sedimentológica da praia da Cruz Quebrada	128
Anexo D – Procedimento para a projecção em <i>Excel</i> de imagens em <i>ArcGIS</i>	129

Índice de figuras

Capítulo I

Figura I. 1 – Representação esquemática do recuo da duna segundo a Regra de Bruun.....	5
Figura I. 2 – Influência da subida do nível do mar no desenvolvimento da praia e do perfil <i>offshore</i> (Bruun, 1962).....	5
Figura I. 3 – Resposta do perfil de equilíbrio à subida do nível do mar: (a) volume de areia gerado pelo recuo horizontal R do perfil de equilíbrio ao longo da distância vertical (h^*+B) ; (b) volume de areia requerido para manter o perfil de equilíbrio com uma largura activa W^* devido à subida s do nível médio do mar; (c) componentes para terra (R) e para cima (s) do perfil translaccionado para atingir o perfil de equilíbrio relativamente à subida do nmm (Dean & Darlymple, 2002).	7
Figura I. 4 – Esquema ilustrativo da erosão dunar: a) Construção gráfica; b) simplificação do perfil para cálculos gerais (Edelman, 1968).	9
Figura I. 5 – Erosão da duna para diferentes alturas da duna (Edelman, 1968).....	9
Figura I. 6 – Relação entre a erosão dunar e a tempestade e altura das ondas (Edelman, 1968).	10
Figura I. 7 – Representação esquemática da erosão de um perfil de praia devido a tempestades (fonte: Edelman, 1972).	10
Figura I. 8 – Esquema ilustrativo das componentes vertical e horizontal do perfil de tempestade (Edelman, 1972).	12
Figura I. 9 – Relação entre o diâmetro médio das partículas e o parâmetro de escala do perfil (A).	14
Figura I. 10 – Gráfico com a relação entre T_D/T_S e $R_{m\acute{a}x}/R_{\infty}$	15
Figura I. 11 – Esboço representativo da erosão dunar devido ao impacto do <i>runup</i> das ondas (Larson <i>et al.</i> , 2004).....	17

Capítulo II

Figura II. 1 – Localização da praia da Cruz Quebrada: A – Localização de Portugal Continental; B – Localização na região da grande Lisboa; C – Pormenor da praia da Cruz Quebrada.....	25
Figura II. 2 – Extracto da Carta 34-C Cascais, ilustrando a localização geográfica da praia da Cruz Quebrada.	25
Figura II. 3 – Extracto da Carta Hidrográfica 37 (IH, 1987).	27
Figura II. 4 – Representação gráfica das alturas significativa (H_s) e máxima (H_{max}) retiradas da bóia de Leixões. O rectângulo vermelho indica o intervalo de tempo no qual se deram as medições no campo.....	27
Figura II. 5 – Representação gráfica dos períodos médio (T_z) e máximo (T_{max}) retirados da bóia de Leixões. O rectângulo vermelho indica o intervalo de tempo no qual se realizaram as medições no campo.....	28
Figura II. 6 – Representação esquemática da montagem do transdutor.	29
Figura II. 7 – Projecção da velocidade do espraio da onda 1 contra a distância desde o início do espraio até à base da duna.	33
Figura II. 8 – Projecção da velocidade do espraio da onda 2 contra a distância desde o início do espraio até à base da duna.	34
Figura II. 9 – Projecção da velocidade do espraio da onda 3 contra a distância desde o início do espraio até à base da duna.	34
Figura II. 10 – Projecção da velocidade do espraio da onda 4 contra a distância desde o início do espraio até à base da duna.	34
Figura II. 11 – Projecção do perfil da duna juntamente com os espraio de cada uma das ondas medidas.....	35
Figura II. 12 – Esquema representativo das alturas da BM e PM e das distâncias temporais entre cada. As medidas são feitas tendo como base o ZH. (IH, Tabela de Marés, Capítulo 1).....	37
Figura II. 13 – Registo dos valores do transdutor (fonte: MATLAB).....	39

Figura II. 14 – Subida do Nível Médio do Mar em CASCAIS (Série de médias mensais) (Carlos Antunes, FCUL).....	40
Figura II. 15 – Construção das dunas; B – Dunas com as respectivas estacas: B1 –duna 1; B2 – duna 2.	41
Figura II. 16 – Vista lateral das dunas com as respectivas estacas.	41
Figura II. 17 – Projecção das duas dunas construídas no campo (fonte: ArcGIS).....	42
Figura II. 18 – Projecção do perfil de praia e da duna 1 com a marcação do ponto de rebentação (D_b) às 14h00.	43
Figura II. 19 – Projecção do perfil de praia e da duna 2. com a marcação do ponto de rebentação (D_b) às 14h00.	43
Figura II. 20 – Projecção dos pontos médios de rebentação, realizados ao longo do processo de erosão com base nos filmes, sobre o perfil da duna 1.	44
Figura II. 21 – Projecção dos pontos médios de rebentação, realizados ao longo do processo de erosão com base nos filmes, sobre o perfil da duna 2.....	44
Figura II. 22 – Projecção do perfil da duna 1 com as respectivas estacas.	45
Figura II. 23 – Projecção do perfil da duna 2 com as respectivas estacas.	46
Figura II. 24 – Escala de tamanho das partículas, adoptada pelo programa GRADISTAT, modificada por Udden (1914) e Wentworth (1922) (fonte: Programa GRADISTAT).....	48
Figura II. 25 – Evolução da erosão dunar para a duna 1.....	50
Figura II. 26 – Evolução da erosão dunar para a duna 2.	51
Figura II. 27 – Duna 1 na fase inicial e final. A forma trapezoidal foi desenhada por cima para facilitar o cálculo da área e do volume da duna.	53
Figura II. 28 – Duna 2 na fase inicial e final. A forma trapezoidal foi desenhada por cima para facilitar o cálculo da área e do volume da duna.	55
Figura II. 29 – Evolução do volume da duna 1 e 2 ao longo do tempo.....	56

Figura II. 30 – Projecção dos valores das velocidades medidas e calculadas para a onda 1.....	59
Figura II. 31 – Projecção dos valores das velocidades medidas e calculadas para a onda 2.....	59
Figura II. 32 – Projecção dos valores das velocidades medidas e calculadas para a onda 3.	60
Figura II. 33 – Projecção dos valores das velocidades medidas e calculadas para a onda 4	60
Figura II. 34 – Representação esquemática da subida do nível do mar para o dia 27 de Outubro de 2014 das 14h00 às 15h00.....	62

Capítulo III

Figura III. 1 – Análise do Modelo de previsão do tempo, ECMWF, da Pressão ao nível médio do mar (hPa, linhas a preto) e vento aos 850 hPa (cor): (a) 2014.Jan.05 00:00 UTC, (b) 2014.Jan.07 00:00 UTC (IPMA).....	65
Figura III. 2 – Análise do Modelo global de agitação marítima WAM, ECMWF, (a) 2014.Jan.05 00:00 UTC, (b) 2014.Jan.06 12:00 UTC (fonte: IPMA).....	66
Figura III. 3 – Projecção dos valores de altura significativa (H_s) e de altura máxima (H_{max}) ao largo registados na boia ondógrafo de Leixões com os dados de previsão da maré em Leixões, para os dias 3 e 8 de Janeiro (Antunes, 2014)....	67
Figura III. 4 – Projecção dos valores de altura significativa (H_s) e de altura máxima (H_{max}) ao largo registados na bóia ondógrafo de Sines com os dados de previsão da maré em Leixões (Antunes, 2014), para os dias 2 e 10 de Fevereiro.	70
Figura III. 5 – Escarpa de erosão da praia da Foz do Lizandro.	71
Figura III. 6 – Localização da praia da Foz do Lizandro: A – Localização de Portugal Continental; B – Localização no concelho de Mafra; C – Pormenor da praia com a projecção dos perfis realizados no campo.	72

Figura III. 7 – Pontos de intersecção do perfil base com as delimitações da base e crista da duna da praia da Foz do Lizandro (fonte: Carapuço <i>et al</i> , 2014).	74
Figura III. 8 – Projecção gráfica das diferentes posições da duna da praia da Foz do Lizandro, realizada com base nos pontos de intersecção entre o perfil realizado no campo e as medições das cristas e bases da duna feitas através da análise de fotogrametria terrestre.	75
Figura III. 9 – Evolução do perfil de praia da Foz do Lizandro (dados cedidos Mónica Ribeiro).	76
Figura III. 10 – Representação da praia da Fonte da Telha com a delimitação das curvas de nível. As curvas a azul escuro correspondem à tempestade Christina cuja profundidade de rebentação foi de 9 metros e as curvas a azul claro correspondem à tempestade Stephanie cuja profundidade de rebentação foi de 7 metros.	78
Figura III. 11 – Matriz de transferência que permite retirar o valor da altura da onda aos 10 metros de profundidade para a praia da Foz do Lizandro.	79
Figura III. 12 – Matriz de transferência para os 10 metros de profundidade com a projecção do período e direcção das ondas da tempestade Christina.	80
Figura III. 13 – Registo da maré em Cascais (preto) e diferença entre a maré registada e a maré prevista (SM a vermelho), com oscilação de alta frequência de maré correspondente à passagem da tempestade Christina.	80
Figura III. 14 – Projecção dos valores de TD/Ts para as duas tempestades de 2014: linha a cheio – tempestade Christina; linha a tracejado – tempestade Stephanie.	83
Figura III. 15 – Picos correspondentes aos diferentes eventos de tempestade que atingiram a costa portuguesa no inverno de 2014 (MATLAB).	87

Glossário

Figura 1 – Esquema ilustrativo da acção da Lua na geração das marés (APRH). 95

Figura 2 – Representação esquemática das divisões que compõem a zona costeira
(fonte: APRH). 97

Índice de Tabelas

Capítulo I

Tabela I. 1 – Comparação dos quatro modelos analíticos aplicados à erosão dunar.	21
Tabela I. 2 – Registo dos parâmetros utilizados pelos diferentes autores na criação dos modelos para o estudo da erosão dunar.....	22

Capítulo II

Tabela II. 1 – Valores da altura significativa e profundidade de rebentação, calculados através do transdutor.....	29
Tabela II. 2 – Registos das distâncias percorridas pelo espraio em cm e metros (h e h'), distância ao início do perfil em metros, velocidade inicial (u_s) e cotas dos espraos (C_{esp}) para as quatro ondas escolhidas.	32
Tabela II. 3 – Valores da PM e BM mais próximos da hora das medições feitas no campo, 14h00 (IH).....	36
Tabela II. 4 – Valores calculados com base no registo do transdutor.	39
Tabela II. 5 – Alturas e distâncias correspondentes aos pontos médios de rebentação calculados com recurso aos filmes, para projecção sobre o perfil das duas dunas.....	45
Tabela II. 6 – Registo das medições das alturas das estacas ao longo do processo erosivo.	49
Tabela II. 7 – Cotas correspondentes às diferentes posições da duna 1 ao longo do processo erosivo.	51
Tabela II. 8 – Cotas correspondentes às diferentes posições da duna 2 ao longo do processo erosivo.	52
Tabela II. 9 – Valores das distâncias (b_i , B_i , h_i), e volume da duna 1 ao longo do processo erosivo.	54
Tabela II. 10 – Valores das distâncias (x_f , X_f , H_f) e volume da duna 2 ao longo do processo erosivo.	55

Tabela II. 11 – Valor da diferença de cotas entre o alcance do espraio e o início do espraio (z) das velocidades medidas (u_s) e calculadas (u_o) para as 4 ondas registadas.	58
Tabela II. 12 – Registo dos valores da MO para o dia 27 de Outubro de 2014, retirados do marégrafo de Cascais (ftp://ftp.igeo.pt/Cascais).	62
Tabela II. 13 – Variação do volume ao longo do tempo durante o processo de erosão das dunas devido ao impacto dos espraio na base da duna.....	63
Tabela II. 14 – Comparação dos valores da variação do volume (m^3/m) entre os valores determinados de acordo com Larson <i>et al</i> (2004) e os determinados a partir dos dados de campo.....	63

Capítulo III

Tabela III. 1 – Síntese dos parâmetros de agitação ao largo registados na bóia de Leixões durante o evento de temporal de 3 a 7 de Janeiro de 2014 – Christina. 67	
Tabela III. 2 – Valores mais elevados das rajadas registados na rede de estações meteorológicas do IPMA (fonte: IPMA).	68
Tabela III. 3 – Síntese dos parâmetros de agitação ao largo registados na bóia de Sines durante o evento de temporal de 8 a 10 de Fevereiro de 2014 – Stephanie.	69
Tabela III. 4 – Registo dos recuos observados através das análises de fotogrametria terrestre.....	75
Tabela III. 5 – Registos da Maré Observada (marégrafo de Cascais), Maré Prevista (IH) e SM referentes ao dia 7 de Janeiro de 2014.....	81
Tabela III. 6 – Registos da Maré Observada (marégrafo de Cascais), Maré Prevista (IH) e SM referentes ao dia 9 de Fevereiro de 2014.....	81
Tabela III. 7 – Valor dos parâmetros para os dias 7 de Janeiro de 2014 e 9 de Fevereiro de 2014, referentes às duas tempestades que atingiram a costa portuguesa no inverno de 2014.....	86
Tabela III. 8 – Comparação dos valores calculados através dos modelos de Edelman, Kriebel & Dean e Larson <i>et al</i> , com os valores medidos pelo método da análise de fotogrametria terrestre.	88

Introdução e objectivos

A presente dissertação está inserida no âmbito do mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Divide-se em quatro capítulos. O capítulo I corresponde a uma introdução aos modelos analíticos utilizados para o estudo da erosão e a descrição de cada um bem como uma comparação geral. No capítulo II insere-se a aplicação do modelo de Larson *et al.* em condições de baixa energia. Especifica-se qual a área escolhida, bem como os seus enquadramentos geográfico e geológico, a caracterização dos parâmetros oceanográficos e a caracterização sedimentológica. Engloba ainda o cálculo da erosão através de observações e previsões. O capítulo III foca a aplicação de três modelos analíticos a condições de tempestade, na qual se insere a explicação das tempestades que atingiram a costa portuguesa em Janeiro e Fevereiro de 2014 e a caracterização da área escolhida. No capítulo IV encontram-se as considerações finais de todos os cálculos efectuados. A dissertação apresenta ainda uma lista de símbolos e um glossário, bem como as referências bibliográficas e electrónicas consultadas. No final encontram-se os anexos no qual se apresentam as tabelas do registo da bóia ondógrafo de Leixões, os registos do transdutor, a caracterização sedimentológica da praia da Cruz Quebrada e um procedimento para a projecção em *Excel* de imagens do *ArcGIS*.

A zona costeira é um dos ambientes naturais mais dinâmicos e frágeis, onde o equilíbrio dinâmico natural pode ser facilmente alterado (Borges *et al.*, 2009), devido, em parte, à erosão induzida por acção antrópica.

A erosão costeira é um processo natural de evolução. No entanto, nas últimas décadas em vindo a aumentar devido à interferência do homem na zona costeira, trazendo como consequência mais directa a redução da área das praias e a destruição das dunas. Estas constituem, muitas vezes, a linha de defesa final contra a acção das ondas durante as tempestades. No caso de as dunas serem alcançadas ou destruídas pelas ondas, pode dar-se a destruição de casas e perdas de vida humana devido a inundações e também à acção directa das ondas. Torna-se pois necessário prever qual o impacto das tempestades sobre as dunas em termos de recuo, e volume erodido (Larson *et al* 2004).

A erosão afecta directamente o perfil de praia. Este tende sempre para o equilíbrio, pelo que, se há défice sedimentar (quando a magnitudes dos sumidouros é superior ao das

Introdução e objectivos

fontes sedimentares), as ondas irão retirar sedimentos à zona subárea (dunas) para colocar na zona submarina. Deste modo o recuo da linha de costa será maior.

O objectivo principal desta dissertação centra-se na quantificação da erosão do perfil de praia provocada pelas tempestades marítimas. Para tal foram analisados três modelos analíticos: modelo de Edelman (1972); modelo de Kriebel & Dean (1993); e modelo de Larson *et al* (2004). Estes são modelos matemáticos em que a solução usada para descrever as mudanças num sistema pode ser descrita por uma função.

Numa primeira análise aplicou-se a ambientes de baixa energia, para se estudar o impacto das ondas em duas dunas construídas na praia da Cruz Quebrada. Pelo facto dos dois primeiros modelos não considerarem explicitamente a variação da maré e a sua influência no recuo da linha de costa, apenas o modelo de Larson *et al.* (2004) foi aplicado aos dados de campo.

A maré tem uma grande importância no cálculo da erosão durante uma tempestade, pois se esta ocorre em preia-mar o seu nível será maior conseqüentemente, o alcance das ondas sobre o perfil de praia será também maior tal como os seus efeitos.

De seguida aplicaram-se os três modelos na previsão da erosão associada a duas tempestades ocorridas em Janeiro e Fevereiro de 2014, tempestade Christina e Stephanie, que atingiram a costa portuguesa.

Relativamente à aplicação dos referidos modelos à costa portuguesa verifica-se que o mais frequentemente utilizado é o Modelo de Kriebel & Dean (1993).

A metodologia adoptada para a realização desta dissertação dividiu-se em três fases. Na primeira fase procedeu-se à recolha de bibliografia, seguida de saídas de campo para observação do processo erosivo em situação controlada, e para a validação de estudos realizados na praia da Foz do Lizandro como consequência das tempestades. Por último procedeu-se à aplicação do modelo de Larson *et al.* aos dados de campo e dos três modelos aos de tempestade.

Capítulo I – Modelos analíticos aplicados à erosão dunar

1. Introdução

Para realizar o estudo da erosão costeira recorreu-se a modelos analíticos. Estes são modelos matemáticos em que a solução usada para descrever as mudanças num sistema pode ser descrita por uma função.

Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários modelos que servem como base para explicar e prever a evolução da linha de costa em resposta à subida do nível do mar, à acção das ondas e ao transporte sedimentar.

Aplicados à erosão dunar podem citar-se os modelos de: Bruun, 1962; Edelman, 1972; Dean & Maurmeyer, 1983; Vellinga, 1986; Kobayashi, 1987; Kriebel *et al.*, 1991; Kriebel & Dean, 1993; Komar *et al.*, 1999; e Larson *et al.*, 2004.

Neste trabalho são analisados e aplicados três dos modelos referidos: modelo de Edelman; modelo de Kriebel & Dean e modelo de Larson *et al.*

Pelo facto de Bruun ter sido dos primeiros autores a estudar a problemática da erosão costeira em resposta à subida do nível do mar, a maior parte dos trabalhos que se seguem neste âmbito, têm como base as premissas do modelo desenvolvido por este autor. O modelo de Edelman baseia-se no perfil de equilíbrio e na duna, que será a fonte sedimentar para se manter o equilíbrio. Nos dois últimos o factor tempo é tido em conta para o cálculo da erosão, o que os torna modelos de resposta dinâmica. O facto do primeiro modelo não ter em conta o tempo torna-o modelo de resposta instantânea. O modelo de Larson *et al.* baseia-se em pressupostos físicos distintos, possibilitando ainda considerar explicitamente o efeito da maré., factor muito importante.

Na descrição que se segue dos modelos apresentam-se as diferentes equações de erosão propostas. Neste trabalho procurou-se uniformizar a simbologia utilizada na apresentação das equações tornando mais fácil a sua comparação.

2. Modelos analíticos

2.1. Modelo de Bruun

Os estudos de erosão efectuados por Bruun (1962) foram realizados na costa sudoeste da Flórida entre a praia de Palm e Miami. O local foi escolhido tendo em conta que o desfasamento temporal entre a subida do nível do mar e a sua repercussão na erosão fosse reduzido. Tal acontece em áreas com fundos íngremes (Bruun, 1962). Isto é, Bruun aplicou o seu modelo a uma praia em que a erosão provocada pela subida do nível do mar é reduzida devido ao elevado declive apresentado.

Segundo Larson *et al.* (2004) o modelo de Bruun baseia-se na forma de equilíbrio da praia e estima o recuo da linha de costa em função da subida do nível médio do mar (NMM). Este modelo apoia-se num pressuposto principal que afirma que, durante um período de tempo, suficientemente longo, o perfil de praia se ajusta à subida do nível do mar através do recuo da linha de costa. Tal abordagem implica que o recuo horizontal seja proporcional ao aumento do nível do mar.

De acordo com Bruun (1962), considerando-se um perfil de equilíbrio, se há uma subida do nível do mar, a quantidade de material necessário para restabelecer o perfil provém da erosão da zona subaérea (duna), uma vez que a quantidade de material trazida pelas correntes é igual a que é levada. Deste modo, para que o perfil se mantenha em equilíbrio, a quantidade erodida deve ser igual à quantidade depositada.

Bruun (1962) descreve duas equações que explicam a variação do perfil de equilíbrio com a subida do nível do mar:

$$R * B = s (w_* - R) h_* \quad (1)$$

ou

$$R (B + h_*) = s w_* \Leftrightarrow R = s \frac{w_*}{(B+h_*)} \quad (2)$$

Em que: R é o recuo da linha de costa; B é a altura da zona que vai ser erodida (duna); s corresponde à subida do nível do mar; w_* é o comprimento do perfil activo que se encontra a uma profundidade h_* (Figura I. 1). A equação (2) ficou conhecida como a Regra de Bruun.

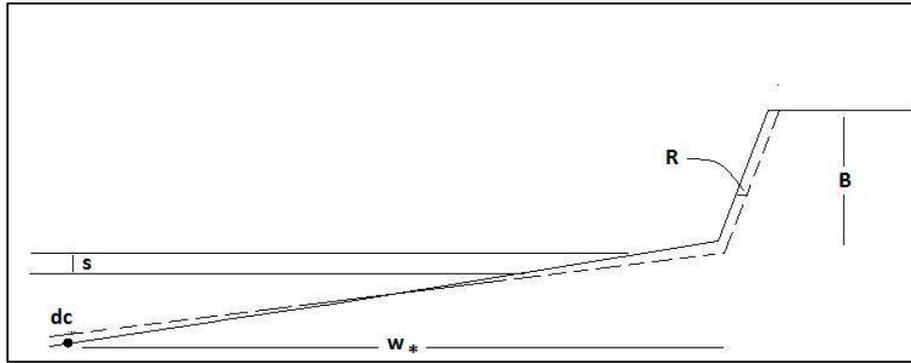


Figura I. 1 – Representação esquemática do recuo da duna segundo a Regra de Bruun.

Na Figura I. 2 é possível ver a influência da subida do nível do mar sobre o perfil de praia. A curva a cheio corresponde ao perfil inicial. Este sofre uma pequena alteração após a subida do nível do mar, sendo representada pela curva a tracejado. A terceira curva, representada com traços e pontos, corresponde ao perfil de praia final, ou seja, ao perfil obtido após a subida do nível do mar e do balanço sedimentar entre a erosão da linha de costa e os sedimentos do fundo.

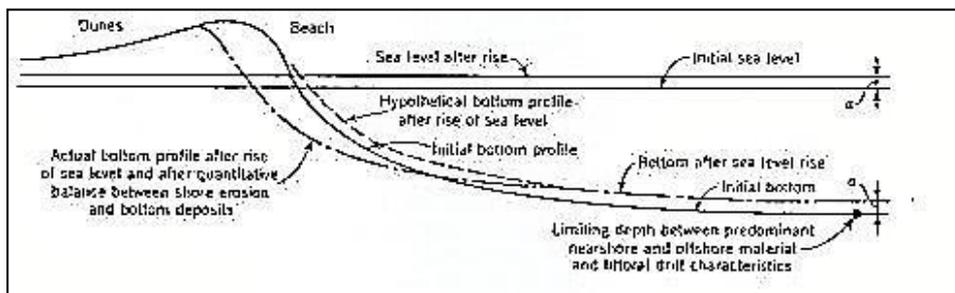


Figura I. 2 – Influência da subida do nível do mar no desenvolvimento da praia e do perfil *offshore* (Bruun, 1962).

Schwarz (1967), referindo-se à regra de Bruun, explica que existem três relações quantitativas durante a mudança do perfil, à medida que se forma o perfil de equilíbrio: 1) durante a erosão da parte subaérea, ocorre um deslocamento do perfil em direcção à praia; 2) o volume erodido na parte superior da praia é igual ao depositado na parte submarina; 3) o aumento da parte submarina, devido à deposição, é igual ao aumento do nível do mar. Deste modo mantém-se uma profundidade de água constante na área. Segundo Dean & Dalrymple (2002) mantém-se o perfil de equilíbrio, ou seja, o novo perfil deve ser igual ao anterior. O facto de o volume erodido igualar o volume depositado permite conservar o volume de areia no perfil.

O volume de areia necessário para restabelecer o perfil de equilíbrio será dado pelo produto entre a subida do nível do mar, s e o comprimento activo do perfil, W_*

$$\Delta V_- = W_* s \quad (3)$$

O volume gerado pelo recuo R , do perfil horizontal é dado pelo produto entre o recuo e a dimensão vertical do perfil a uma distância W_* . Esta dimensão vertical pode ser expressa por $(h_* + B)$

$$\Delta V_+ = R(h_* + B) \quad (4)$$

Igualando as duas expressões obtém-se a regra de Bruun

$$\Delta y = -R = -s \frac{W_*}{(h_* + B)} = -\frac{s}{\tan \beta_f} \quad (5)$$

Onde $\tan \beta_f$ é o declive médio do perfil activo (Figura I. 3). O sinal negativo na equação (5) indica o recuo da linha de costa em subida do nível do mar. Na figura seguinte é possível observar diferentes esquemas que descrevem as diferentes fases do perfil, bem como os volumes associados, e as componentes horizontal e vertical.

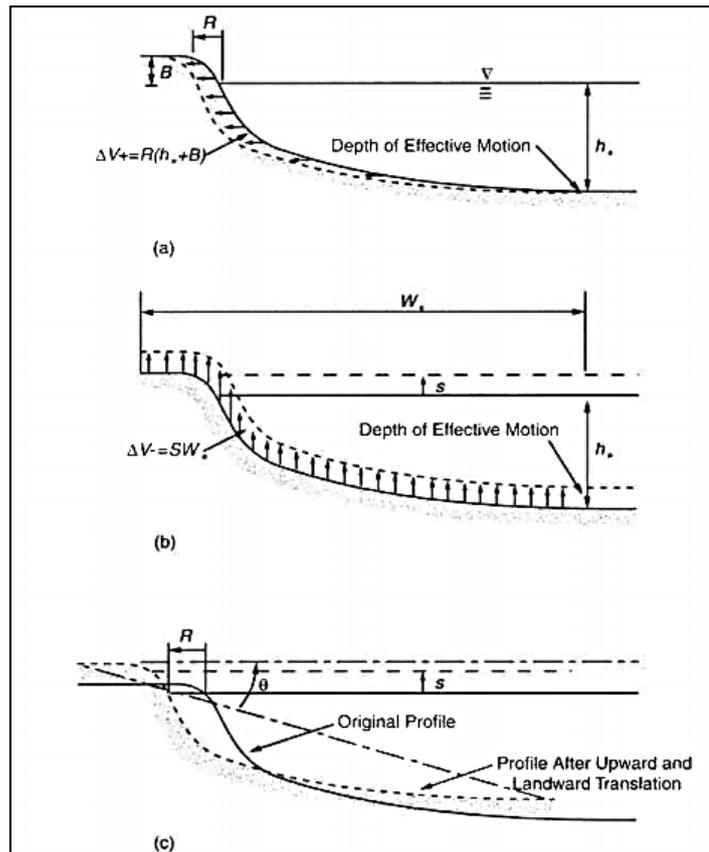


Figura 1.3 – Resposta do perfil de equilíbrio à subida do nível do mar: (a) volume de areia gerado pelo recuo horizontal R do perfil de equilíbrio ao longo da distância vertical (h_*+B) ; (b) volume de areia requerido para manter o perfil de equilíbrio com uma largura activa W_* devido à subida s do nível médio do mar; (c) componentes para terra (R) e para cima (s) do perfil translacionado para atingir o perfil de equilíbrio relativamente à subida do nmm (Dean & Dalrymple, 2002).

Segundo o modelo de Bruun, praias com declives mais suaves irão apresentar uma taxa de erosão mais rápida, para uma unidade de aumento do nível do mar, do que as praias com declives mais acentuados (Dean & Maurmeyer, 1983).

2.2. Modelo de Edelman

Edelman realizou os estudos de erosão por tempestade na costa Holandesa. O local foi escolhido tendo em conta que grande parte das áreas costeiras ocupadas está protegida do mar apenas por dunas, sendo necessário estudar quanto tempo durará a erosão por tempestade (Edelman, 1968).

De acordo com Larson *et al.*, (2004) Edelman desenvolveu uma equação para estimar a erosão dunar por tempestade utilizando a mesma premissa básica da regra de Bruun.

Edelman (1968), após fazer vários estudos antes e depois de tempestades, propõe um modelo no qual afirma que a forma de uma secção transversal numa praia deve-se principalmente a deslocamentos de areia perpendiculares à linha de costa, provocados essencialmente pelas ondas. Este autor assume quatro pressupostos:

I. A quantidade de areia transportada pelas ondas, q_w é dada pela seguinte expressão:

$$q_w = -k \left(\frac{2\pi H}{L_0} \right)^2 \frac{1}{\left(\sinh \frac{2\pi z}{L_0} \right)^2} \quad (6)$$

Em que: k é uma constante, que depende apenas da natureza do transporte; H é a altura da onda; L_0 é o comprimento de onda ao largo; z é a profundidade da água.

Assumindo que o valor de $\frac{2\pi z}{L_0}$ é pequeno pode-se considerar que $\sinh \frac{2\pi z}{L_0}$ tende para $\frac{2\pi z}{L_0}$, reduzindo a expressão para $q_w = -k \frac{H^2}{z^2}$; (7)

II. Os valores de H e L_0 são independentes de z ; q_w não tem em conta a areia transportada em suspensão;

III. O declive funciona como uma força que neutraliza a força das ondas, que trazem os sedimentos para cima, e a força da gravidade que tende a levá-los em direcção ao mar; q_s é o transporte que resulta deste balanço, sendo proporcional à inclinação.

$$q_s = \gamma \frac{dz}{dx}; \quad (8)$$

IV. Dentro da zona de rebentação a altura da onda nunca superará o valor de z , assim $H_b \leq 0.78x$.

Na Figura I. 4 é possível observar um esquema no qual se representa a erosão através de uma simplificação do perfil.

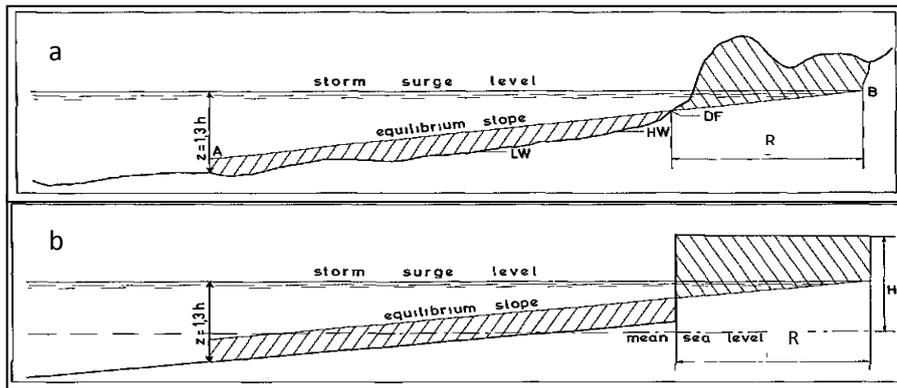


Figura I. 4 – Esquema ilustrativo da erosão dunar: a) Construção gráfica; b) simplificação do perfil para cálculos gerais (Edelman, 1968).

A Figura I. 5 mostra a influência da altura da duna, B , na erosão da duna (distância R na Figura I. 5), para um nível de tempestade, p , de 5.20 metros, acima do nível do mar, base da duna a 3.80 metros acima do nível do mar, uma altura das ondas ao largo de 10 metros e um declive de equilíbrio de 1:50. Por outro lado, na Figura I. 6 é possível observar que a erosão da duna depende da altura p do nível da tempestade e da altura da duna, B . Assume-se que a altura da onda é dada por $H = 1.5p$.

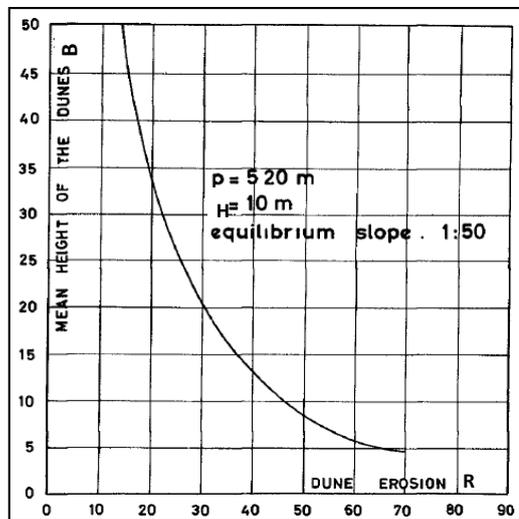


Figura I. 5 – Erosão da duna para diferentes alturas da duna (Edelman, 1968).

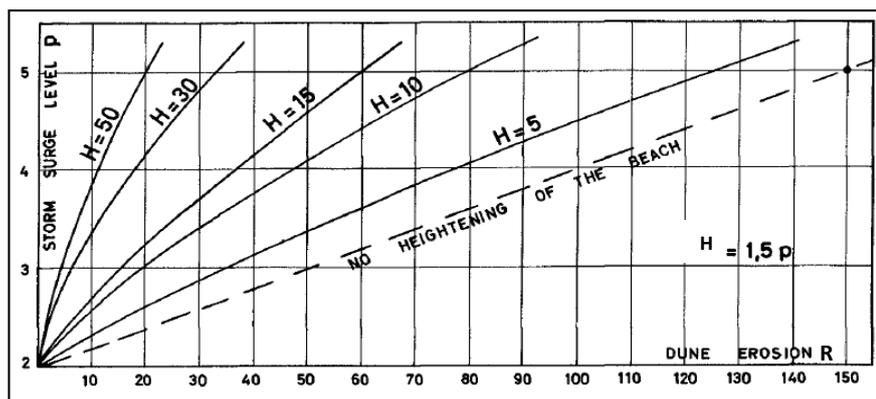


Figura I. 6 – Relação entre a erosão dunar e a tempestade e altura das ondas (Edelman, 1968).

É possível observar que maiores alturas da duna garantem uma maior segurança; esta tendência associa-se a um maior volume sedimentar disponível. Este comportamento tem sido observado na natureza, bem como em ensaios de laboratório. No entanto, tal previsão é apenas válida para os casos de se estar a lidar com praias longitudinalmente uniformes. Se, por exemplo, existir um canal para o qual é dirigido todo o sedimento que provém da erosão dunar, as dunas altas podem não apresentar um factor de segurança adicional (Edelman, 1968).

Em 1972 Edelman observou que o perfil de praia (medido após uma tempestade) seria representado não por uma recta mas por uma curva, como se mostra na Figura I. 7.

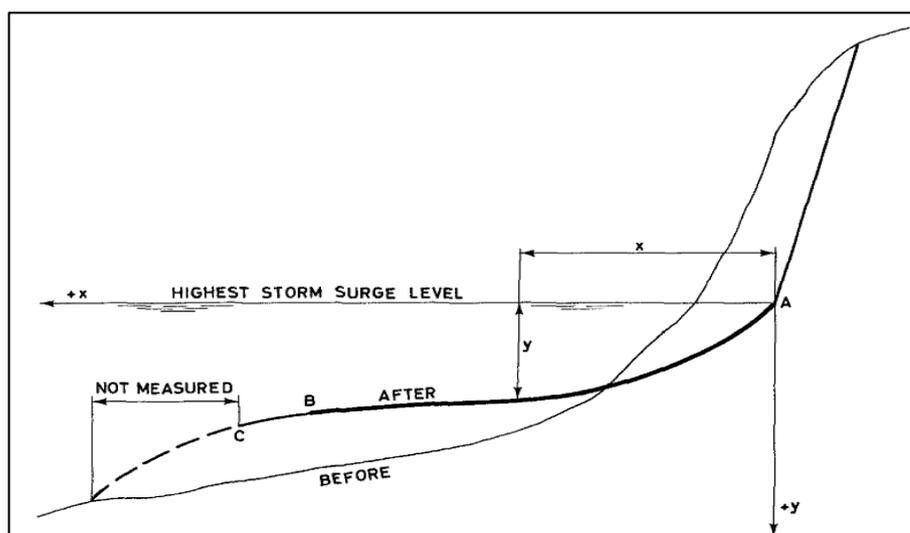


Figura I. 7 – Representação esquemática da erosão de um perfil de praia devido a tempestades (fonte: Edelman, 1972).

Edelman (1972) afirma três pressupostos:

- I. A forma do perfil que se encontra abaixo do nível do mar é quase independente da sobre-elevação;
- II. À medida que se dá a subida do nível do mar, na qual grande quantidade de areia vai sendo transportada em direcção ao mar, o perfil move-se para cima e para terra, preservando as suas características;
- III. A areia transportada é distribuída por todo o perfil num curto espaço de tempo.

Analisando a figura seguinte verifica-se que, ao longo de um intervalo de tempo, o movimento horizontal, u , provoca uma perda de sedimento: $(h_* + B) u \Delta t$, e o movimento vertical, v , provoca um ganho de sedimento: $Lv\Delta t$.

Admitindo que não há perdas de sedimento no perfil, ou seja, o volume perdido é igual ao ganho, as equações podem ser igualadas: $u = \frac{L}{h_* + B} v$. Considerando que, durante a tempestade a base da duna avança para terra, $R = \int_{t=0}^{t=t_m} u dt$, Edelman calcula o recuo através da seguinte expressão

$$R = w_* * \ln \frac{B+h_*}{(B+h_*)-s} \quad (9)$$

Em que: R é o recuo calculado; w_* é o comprimento do perfil activo; B é a altura da duna; h_* é a profundidade de rebentação; s é a taxa da subida do nível do mar.

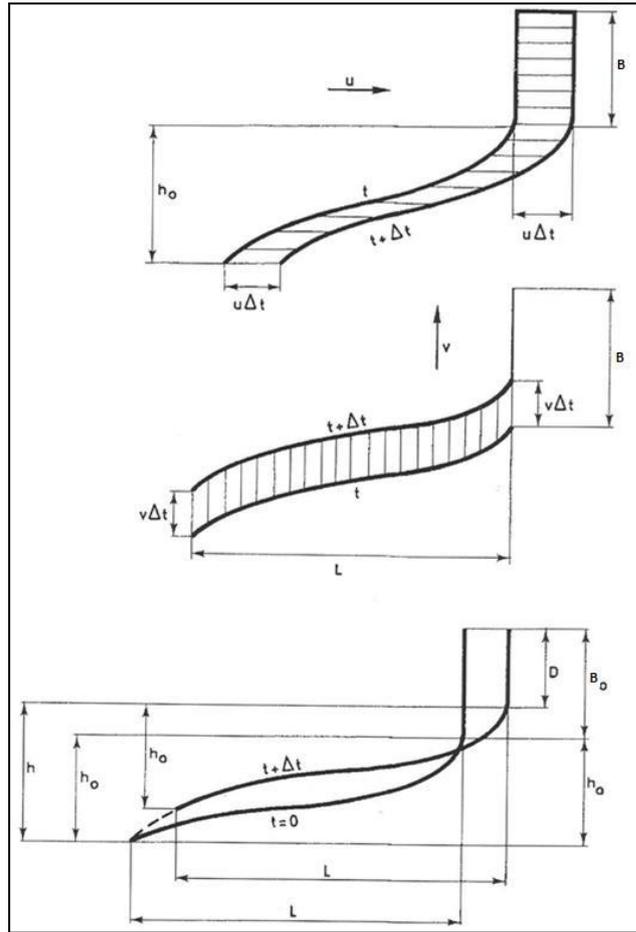


Figura I. 8 – Esquema ilustrativo das componentes vertical e horizontal do perfil de tempestade (Edelman, 1972).

A diferença entre as equações de Edelman de 1968 e 1972 é que esta última tem em conta a diminuição da altura da duna relativamente à subida do nível do mar enquanto o perfil se move para cima (Dean & Maurmeyer, 1983).

2.3. Modelo de Kriebel & Dean

Kriebel & Dean (1984) criaram um modelo que avalia o recuo de um perfil natural associado à acção das tempestades e das ondas, ao longo do tempo.

A metodologia proposta pelos autores inclui duas fases: o desenvolvimento de um método computacional para previsão de erosão devido a uma forte tempestade de determinadas características, e a incorporação deste método num modelo maior, que representa as probabilidades de ocorrência de tempestades mais fortes (Kriebel & Dean, 1984).

O modelo é baseado na premissa de que o perfil de praia se ajusta sempre no sentido de atingir a sua forma mais estável, ou seja, o perfil de equilíbrio. O perfil de equilíbrio é o resultado do balanço entre as forças em direcção ao mar, como a gravidade e a corrente de retorno, e as forças em direcção a terra, como as velocidades de escoamento na parte inferior do perfil e o transporte de partículas associado à assimetria das ondas (Dean & Dalrymple, 2002).

Há evidências empíricas que sugerem que a forma de equilíbrio geral do perfil da praia pode ser aproximada por uma curva expressa por (Kriebel & Dean, 1984),

$$h_* = Ax^m \tag{10}$$

Onde h_* corresponde à profundidade que se encontra uma distância x da linha de costa; m é um expoente (adimensional) que determina a forma do perfil (Masselink & Hughes, 2003). O valor de m varia consoante a forma dos perfis, sendo maior que 1 para perfis convexos, igual a 1 para perfis rectilíneos e menor que 1 para perfis côncavos. Estudos feitos por Bruun e Dean sugerem um valor médio de $m = 0.67$ ou $2/3$ (Masselink & Hughes, 2003).

O parâmetro de escala A está, teoricamente, relacionado com o valor da dissipação de energia por unidade de volume. Dean (1977, 1987), Moore (1982) e outros autores relacionaram o parâmetro A com o tamanho médio dos grãos (Kriebel & Dean, 1984).

Dean relaciona o parâmetro A com a velocidade de queda das partículas. Quanto maior o sedimento maior o valor de A e mais íngreme o declive da praia (Masselink & Hughes, 2003). Os autores afirmam ainda que este parâmetro depende primeiramente das

características dos sedimentos e só depois das características das ondas (Kriebel & Dean, 1984).

O valor de A pode ser calculado recorrendo à Figura I. 9.

Summary of Recommended A Values (Units of A Parameter are m ^{1/3})										
D(mm)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.063	0.0672	0.0714	0.0756	0.0798	0.084	0.0872	0.0904	0.0936	0.0968
0.2	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	0.115	0.117	0.119	0.121	0.123
0.3	0.125	0.127	0.129	0.131	0.133	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143
0.4	0.145	0.1466	0.1482	0.1498	0.1514	0.153	0.1546	0.1562	0.1578	0.1594
0.5	0.161	0.1622	0.1634	0.1646	0.1658	0.167	0.1682	0.1694	0.1706	0.1718
0.6	0.173	0.1742	0.1754	0.1766	0.1778	0.179	0.1802	0.1814	0.1826	0.1838
0.7	0.185	0.1859	0.1868	0.1877	0.1886	0.1895	0.1904	0.1913	0.1922	0.1931
0.8	0.194	0.1948	0.1956	0.1964	0.1972	0.198	0.1988	0.1996	0.2004	0.2012
0.9	0.202	0.2028	0.2036	0.2044	0.2052	0.206	0.2068	0.2076	0.2084	0.2092
1.0	0.210	0.2108	0.2116	0.2124	0.2132	0.2140	0.2148	0.2156	0.2164	0.2172

Notes:
 (1) The A values above, some to four places, are not intended to suggest that they are known to that accuracy, but rather are presented for consistency and sensitivity tests of the effects of variation in grain size.
 (2) As an example of use of the values in the table, the A value for a median sand size of 0.24 mm is: A = 0.112 m^{1/3}. To convert A values to feet^{1/3} units, multiply by (3.28)^{1/3} = 1.49.

Figura I. 9 – Relação entre o diâmetro médio das partículas e o parâmetro de escala do perfil (A).

Segundo Kriebel & Dean (1984) durante uma tempestade, o aumento do nível do mar permite que as ondas rebentem mais perto da costa. Como consequência há uma diminuição do comprimento da zona de surf (zona de rebentação das ondas) e ao mesmo tempo há um aumento da dissipação de energia por unidade de volume em todos os pontos da zona de surf. Assumindo que o perfil de praia vai responder de modo a recuperar até ao perfil de equilíbrio, haverá um aumento da zona de surf, devido à erosão e deposição dos sedimentos que obriga a que o ponto de rebentação se afaste novamente da linha de costa.

Quando há uma subida do nível do mar, para que o perfil de praia se mantenha em equilíbrio, é necessário transportar sedimentos da zona emersa (duna) para a zona submarina, de modo que o volume do sedimento erodido seja igual ao volume de sedimento depositado. Este dá-se pela acção das ondas sobre a duna, através do espraio. Como consequência dá-se a erosão dunar e o recuo da linha de costa. Mas este recuo, contrariamente aos modelos apresentados por Bruun e Edelman, não assume uma resposta instantânea mas sim dinâmica, sendo calculado através da seguinte expressão:

$$R(t) = R_{\infty} (1 - e^{-T_D/T_S}) \quad (11)$$

Em que: R_{∞} é a máxima erosão esperada; T_S é um parâmetro de escala característico do sistema; e T_D é a duração da tempestade.

Os temporais caracterizam-se pela sua resposta dinâmica, pelo que é necessário ter em conta o parâmetro de escala temporal de erosão (T_S) e a duração da tempestade (T_D). O parâmetro de escala temporal de erosão pode ser calculado da seguinte forma:

$$T_S = 320 * \frac{H_b^{3/2}}{g^{1/2} * A^3} * \left(1 + \frac{h_*}{B} + \frac{\beta_f * W_*}{h_*}\right)^{-1} \quad (12)$$

O ábaco da figura seguinte permite estimar o valor de R_{\max}/R_{∞} a partir de T_D/T_S .

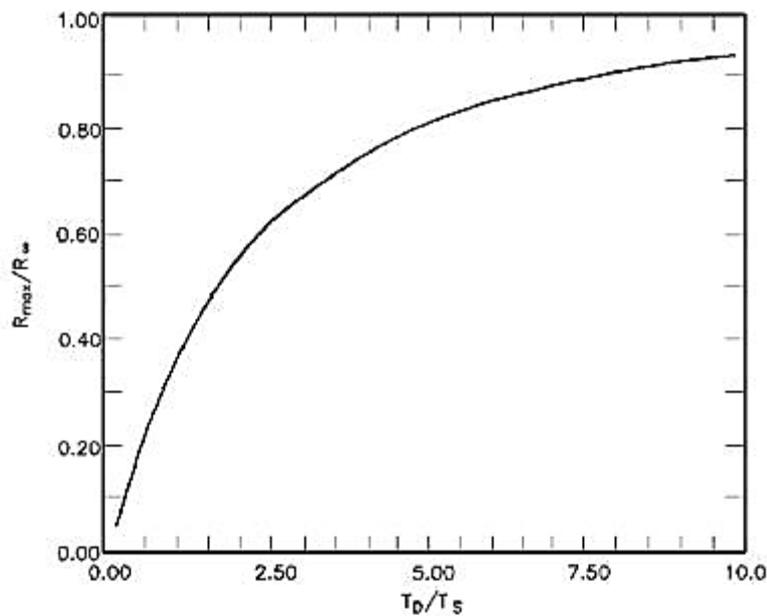


Figura I. 10 – Gráfico com a relação entre T_D/T_S e R_{\max}/R_{∞} .

Após a determinação do valor de R_{\max}/R_{∞} retira-se o valor do recuo máximo.

2.4. Modelo de Larson

O modelo de Larson *et al.* (2004) permite calcular a erosão costeira durante várias tempestades, através da teoria do impacto das ondas. Esta assume que a erosão dunar é causada pelos sucessivos impactos do espraio de cada onda na base da duna. Esta teoria pressupõe que exista uma relação linear entre o impacto F (força que actua na duna devido à variação de momento de uma partícula de fluido) e o peso do volume dos sedimentos erodidos da duna, ΔW . Esta relação dá-se segundo a equação 13, onde C_E é um coeficiente empírico. A erosão total sofrida vai depender da frequência e da intensidade dos impactos (Larson *et al.*, 2004).

$$\Delta W = C_E F \quad (13)$$

Larson *et al.* (2004) começa por descrever as características hidrodinâmicas das ondas, dentro das quais a velocidade do espraio é a que vai condicionar mais a existência de erosão. A taxa média da erosão dunar é dada por:

$$q_D = \frac{dV}{dt} = -\frac{1}{2} \frac{C_E \rho}{C_u^2 \rho_s} \frac{u_0^4}{g^2 T} \frac{1}{(1-p)} \quad (14)$$

Em que: t é o tempo; C_E e C_u são coeficientes empíricos; ρ e ρ_s são a densidade da água e do sedimento, respectivamente; u_0 é a velocidade do espraio na base da duna; g é a aceleração da gravidade; T é o período das ondas; e p a porosidade do sedimento. O sinal negativo na expressão indica o processo de erosão.

Para chegar ao modelo analítico, Larson *et al.* (2004), assume algumas simplificações. A velocidade do espraio na base da duna (u_0) vai depender da velocidade com que o espraio inicia a subida pela face de praia (u_s), e da distância na vertical entre a base da duna e o início do espraio (z_0), segundo a equação seguinte.

$$u_0^2 = u_s^2 - 2gz_0 \quad (15)$$

O declive da praia (β_f) encontra-se implícito no valor de z_0 . Expressando o volume em função de z_0 e admitindo que o declive da praia se mantém constante ao longo do processo erosivo, conforme observado em teste laboratoriais de grande escala (Larson *et al.*, 2004), o volume de areia inicial pode ser estimado por

$$V = \frac{1}{2} \frac{(B' - z_0)^2}{\tan \beta_f} \quad (16)$$

Em que B' corresponde à distância vertical desde o início do espraio ao topo da duna (Figura I. 11). A variação, no tempo, do volume dunar pode ser expressa através da seguinte equação

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dz_0} \frac{dz_0}{dt} = - \frac{(B' - z_0)}{\tan \beta_f} \frac{dz_0}{dt} \quad (17)$$

Substituindo esta equação na expressão na equação governante (14) juntamente com a expressão de u_0 (15) obtém-se

$$\frac{dz_0}{dt} \frac{(B' - z_0)}{\tan \beta_f} = C_s \frac{(u_s^2 - 2gz_0)^2}{g^2 T} \quad (18)$$

onde

$$C_s = \frac{1}{2} \frac{C_E \rho}{C_u^2 \rho_s} \frac{1}{(1-p)} \quad (19)$$

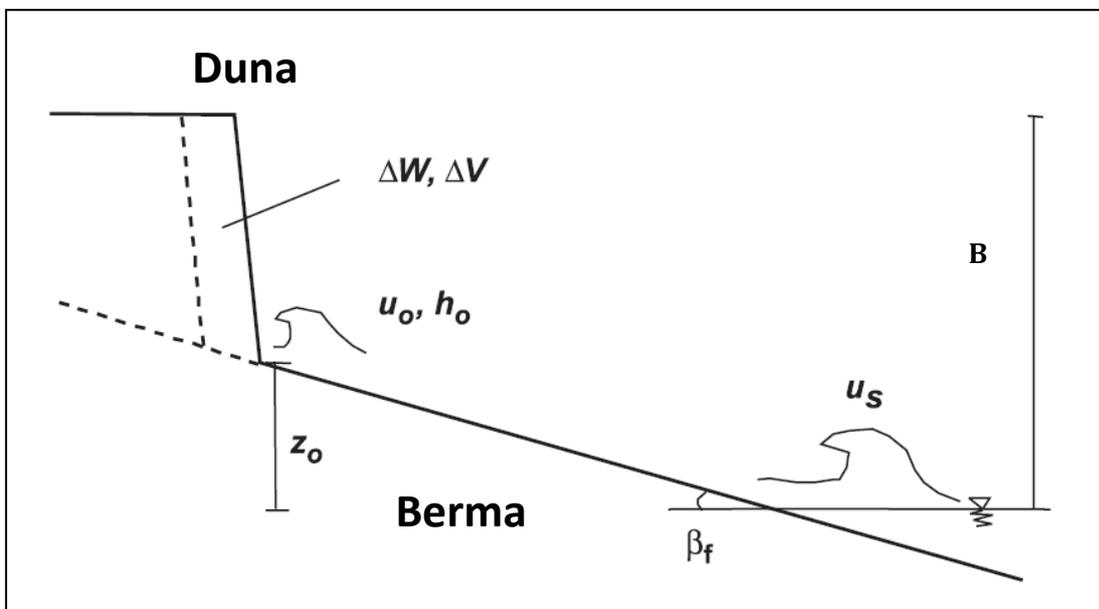


Figura I. 11 – Esboço representativo da erosão dunar devido ao impacto do *runup* das ondas (Larson *et al.*, 2004).

Larson *et al.* (2004) descreve várias situações que lhe permitem chegar à solução analítica para o modelo proposto:

I. Considerando que u_s é constante:

Geralmente este primeiro pressuposto não se verifica, registando-se pequenas alterações nos valores de u_s . Para este primeiro caso Larson *et al.* (2004) propõe o cálculo de u_s expressando-o em termo da altura do *runup* (R_{up}).

$$u_s^2 = 2gR_{up} \quad (20)$$

Substituindo esta fórmula na equação governante e admitindo que o declive é constante e $z_0=z_m$ quando $t=0$ (em que z_m é a elevação inicial da base da duna) obtém-se a seguinte expressão

$$\left(\frac{B'}{R_{up}} - 1\right) \frac{(z_m/R_{up}) - (z_0/R_{up})}{(1-z_0/R_{up})(1-z_m/R_{up})} + \ln\left(\frac{1-z_0/R_{up}}{1-z_m/R_{up}}\right) \quad (21)$$

Esta solução é apenas válida se $\frac{z_m}{R_{up}} < \frac{z_0}{R_{up}} < 1$, onde $0 < \frac{z_m}{R_{up}} < 1$ e se $\frac{B'}{R_{up}} < 1$. $\frac{z_0}{R_{up}}$ deve ser menor que $\frac{B'}{R_{up}}$ (depois disto, a onda deve erodir até atingir o recuo máximo). Ou seja: o nível do mar, em cada instante tem de estar abaixo da base da duna; o *runup* não pode ser zero nem infinito, o que significa que tem que existir *runup*; e a distância, no plano vertical, da base da duna ao nível do mar, em cada instante, tem que ser inferior à sobrelevação (*runup*) causada pela onda que atua nesse mesmo instante (Guerreiro e Oliveira, 2013).

O volume erodido será dado pela seguinte expressão,

$$\Delta V_E = \frac{1}{2 \tan \beta_f} (2B(z_0 - z_m) + z_m^2 - z_0^2) \quad (22)$$

Estudos realizados em grandes tanques de ondas (Large Wave Tank, LWT) indicam que, se β_f é considerado constante ao longo do recuo implica que z_0 varie com o tempo, tornando a solução analítica mais complicada. Ignorando a variação de z_0 (apropriado quando o recuo da duna é pequeno), a equação do volume erodido, ao longo do tempo, será:

$$\Delta V = 4 * C_s * (R_{up} - z_0)^2 * \frac{t}{T} \quad (23)$$

O tempo necessário para erodir toda a duna é dado por:

$$t_B = \left(\frac{T}{4C_s}\right) * \frac{V}{(R_{up}-z_0)^2} \quad (24)$$

II. Aumento do nível do mar de forma linear:

O aumento linear é descrito por $z = z_i - at$, onde z_i corresponde à distância vertical entre o início do espraio e a base da duna quando $t=0$ e a representa um coeficiente que descreve a taxa de aumento do nível do mar. O sinal negativo indica a redução da distância vertical, ou seja, a subida do nível do mar.

Para este segundo caso o volume erodido será:

$$\Delta V_E = 4 * \left(\frac{C_s}{T}\right) * \left((R_{up} - z_i)^2 * t + a * (R_{up} - z_i) * t^2 + \frac{1}{3} * a^2 * t^3 \right) \quad (25)$$

III. Variação sinusoidal do nível do mar:

Durante uma tempestade as condições das ondas variam com o tempo, fazendo com que haja também uma variação do *runup*. Neste caso a variação do nível do mar e do *runup* é descrito por

$$z_0 = z_i - z_a \sin\left(\frac{\pi t}{T_D}\right) \quad (26)$$

$$R_{up} = R_{up_i} - R_{up_a} \sin\left(\frac{\pi t}{T_D}\right) \quad (27)$$

Em que: z_a e R_{up_a} correspondem à amplitude da variação sinusoidal do nível do mar e do *runup*, respectivamente; z_i e R_{up_i} correspondem, respectivamente, à distância inicial entre a base da duna e o início do espraio e à altura do *runup* quando $t=0$; T_D corresponde à duração da tempestade ($0 < t < T_D$).

A variação do volume ao longo do tempo é dada por

$$\frac{dV}{dt} = -4 \frac{C_s}{T} \left(R_{up_T} \sin\left(\frac{\pi t}{T_D}\right) - z_D \right)^2 \quad (28)$$

onde $R_{up_T} = R_{up_a} + z_a$ e $z_D = z_i - R_{up_i}$.

Para que a expressão seja válida, $\frac{dV}{dt} < 0$, ou seja, a duna tem de estar a erodir. Se $z_D < 0$ a condição é sempre cumprida, mas se $z_i > R_{up_i}$ a condição é apenas válida para uma determinada porção da tempestade, quando as ondas batem na duna provocando erosão. Dizer que $z_D < 0$ é o mesmo que $z_i - R_{up_i} < 0 = z_i < R_{up_i}$, ou seja, a distância vertical, quando $t=0$, desde nível do mar à base da duna deve ser inferior ao *runup*, quando $t=0$.

O tempo em que as ondas começam a incidir na base da duna é dado por

$$t_L = \frac{T_t}{\pi} \arcsin\left(\frac{z_D}{R_{up_T}}\right) \quad (29)$$

Sendo $t_L < t < T_D - t_L$ o tempo em que as dunas estão expostas à erosão. Calculando o volume erodido vem igual a

$$\Delta V_E = 8 \frac{C_s}{T} \left(\left(\frac{T_D}{2} - t_L \right) \left(\frac{1}{2} R_{up_T}^2 + z_D^2 \right) + R_{up_T}^2 \frac{T_D}{4\pi} \sin\left(2 \frac{\pi t_L}{T_t}\right) - 2 R_{up_T} z_D \frac{T_D}{\pi} \cos\left(\frac{\pi t_L}{T_D}\right) \right) \quad (30)$$

Larson *et al.* (2004) descreve ainda um quarto caso, que considera as condições de forçamento associadas à existência de um furacão, pelo que não será descrito aqui.

3. Análise comparativa dos modelos

Segundo Larson *et al.* (2004) as características comuns à maioria dos modelos analíticos aplicados à erosão dunar são: 1º assume-se que o nível do mar aumenta instantaneamente em $t = 0$ e se mantém constante durante a tempestade; 2º os sedimentos erodidos da duna são depositados nas imediações do ponto de rebentação inicial, fazendo com que este se mova para o largo.

A maior parte dos modelos também assume que a face da duna recua como uma frente vertical. Estes esforços actuam de modo a prever a taxa de erosão dunar que depende do desenvolvimento pós-tempestade do perfil de equilíbrio, onde o volume dunar erodido é determinado pela quantidade de areia necessária para estabelecer o novo perfil (Larson *et al.*, 2004).

Na realidade, a resposta do perfil é lenta quando comparada com a rápida variação das condições hidrodinâmicas. As condições de tempestade e de ondas não são constantes e as tempestades raramente excedem o tempo necessário para que um perfil alcance o perfil de equilíbrio após uma tempestade (Larson *et al.*, 2004).

Na Tabela I. 1 encontram-se as fórmulas dos quatro modelos utilizados para a cálculo da erosão dunar devido a tempestades. No caso do modelo de Larson *et al.* apresentam-se as fórmulas utilizadas para os casos em que não se possui medições dos parâmetros no campo: a primeira corresponde à subida linear do nível do mar e a segunda a uma variação sinusoidal.

Tabela I. 1 – Comparação dos quatro modelos analíticos aplicados à erosão dunar.

Modelo	Fórmula
Edelman	$R = w_* * \ln \frac{B + h_*}{(B + h_*) - S}$
Kriebel & Dean	$R(t) = R_\infty (1 - e^{-T_D/T_s})$
Larson	$\Delta V_E = 4 * \left(\frac{C_s}{T}\right) * \left((R_{up} - z_i)^2 * t + a * (R_{up} - z_i) * t^2 + \frac{1}{3} * a^2 * t^3 \right)$
	$\Delta V_E = 8 \frac{C_s}{T} \left(\left(\frac{T_D}{2} - t_L \right) \left(\frac{1}{2} R_{up}^2 + z_D^2 \right) + R_{up}^2 \frac{T_D}{4\pi} \sin \left(2 \frac{\pi t_L}{T_D} \right) - 2 R_{up} z_D \frac{D}{\pi} \cos \left(\frac{\pi t_L}{T_D} \right) \right)$

Na Tabela I. 2 apresentam-se novamente os quatro modelos aplicados com a referência aos parâmetros utilizados por cada um.

Tabela I. 2 – Registo dos parâmetros utilizados pelos diferentes autores na criação dos modelos para o estudo da erosão dunar.

Parâmetros		Modelo		
		Edelman	Kriebel & Dean	Larson et al
Nível do mar	Sobreelevação meteorológica (S)	✓	✓	✓
	Maré			✓
	Runup (R_{up})			✓
Ondas	Período (T)		(*)	✓
	Altura (H)	✓	✓	✓
	Duração da tempestade (T_t)		✓	✓

(*) Incluído no parâmetro de escala temporal de erosão.

Verifica-se que o modelo que considera um maior número de processos é o de Larson *et al.* Este trabalho analisa com maior detalhe este modelo, uma vez que é o único que considera explicitamente a variação da maré e, em Portugal, ainda não existem aplicações que permitam validar os pressupostos físicos e os respectivos resultados.

Capítulo II – Aplicação e validação em condições de baixa energia

1. Introdução

Para a validação do modelo de Larson *et al.* foi necessário proceder à sua aplicação em condições onde fosse possível controlar simultaneamente o forçamento e a resposta morfológica do sistema. Nesse sentido, optou-se por escolher um local que apresentasse condições de baixa energia. Optou-se por realizar os trabalhos de campo na praia da Cruz Quebrada, pois, à data da experiência, apresentava ondas com altura reduzida.

A saída à referida praia realizou-se no dia 27 de Outubro de 2014, às 11h30, em condições de enchente, e contou a participação de três elementos: Rui Taborda, João Pedro Cascalho e Teresa Maria Gala.

O objectivo principal desta saída foi efectuar a validação do modelo de Larson *et al.* (2004) através da construção de dois montes de areia que simulavam duas dunas (nome pelo qual serão designadas ao longo da dissertação) de diferentes dimensões, e o estudo, por observação no campo e análise de dados, da evolução temporal da erosão.

2. Metodologia

A construção das dunas foi efectuada manualmente com o auxílio de duas pás. A areia foi retirada do lado terrestre das dunas de forma a que o perfil de praia activo não fosse alterado. Sobre a base e topo das dunas foram colocadas estacas. A medição das cotas das dunas, das estacas e realização dos respectivos perfis foi efectuada com o DGPS em modo RTK.

Para a medição das estacas foi utilizada uma fita métrica. Os dados foram registados num caderno de campo, anotando a hora a que cada medição foi efectuada. As medições realizaram-se sempre no sentido do mar para terra. Às 14 horas o espraio das ondas começou a incidir na base das dunas. No intervalo de tempo em que as ondas começaram a incidir na duna até esta estar completamente erodida (15h10) realizaram-se medições das estacas, de modo a medir a taxa de erosão. Os valores apresentam o erro associado ao tipo de medição.

Para medir as condições de agitação incidente utilizou-se um transdutor de pressão, que fornece um registo com a data e hora, bem como a pressão já convertida em profundidade (m). Este foi programado para iniciar as medições às 13h00.

Utilizou-se ainda uma câmara fotográfica com a qual, além de se fotografar as dunas, se gravaram 8 filmes nos quais se pode observar a evolução da erosão.

No trabalho de gabinete procedeu-se ao tratamento dos dados do DGPS e transdutor de pressão com recurso às ferramentas do *ArcGIS*, *Excel* e *MATLAB*.

3. Enquadramentos

3.1. Enquadramento geográfico e características gerais

A praia da Cruz Quebrada situa-se em Portugal Continental (Figura II. 1A), na margem norte do Tejo, no concelho de Oeiras (Figura II. 1B). É delimitada a nascente pela foz do Rio Jamor (Figura II. 1C).

Apresenta uma forma triangular, alongada segundo WNW – ESE, um comprimento médio de 180 m e largura média de 46 m. O areal é pouco extenso tonando-se mais estreito de oeste para este. Junto da linha de costa, formando um cordão, existem vários seixos rolados de pequenas dimensões.

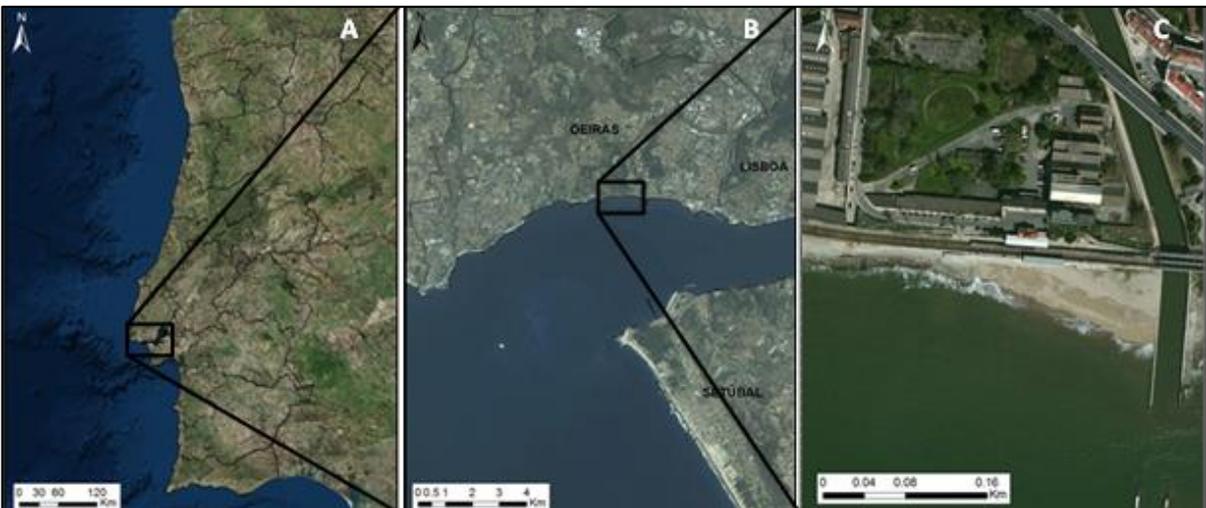


Figura II. 1 – Localização da praia da Cruz Quebrada: A – Localização de Portugal Continental; B – Localização na região da grande Lisboa; C – Pormenor da praia da Cruz Quebrada.

3.2. Enquadramento geológico

A área em estudo é abrangida pela folha 34-C Cascais, da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50 000, editada em 2001 pelo Instituto Geológico e Mineiro de Portugal.

Analisando a carta acima referida é possível denotar que a praia da Cruz Quebrada se encontra numa zona de aluviões de idade Holocénica (Quaternário superior) (Figura II. 2).



Figura II. 2 – Extracto da Carta 34-C Cascais, ilustrando a localização geográfica da praia da Cruz Quebrada.

4. Agitação incidente

A agitação marítima é um factor importante no que diz respeito ao transporte sedimentar ao longo da costa e à morfologia das praias. Para a análise dos dados de agitação recorreu-se aos dados de agitação ao largo e junto à costa, através da bóia ondógrafo de Leixões e do transdutor, respectivamente.

A bóia ondógrafo de Leixões regista as características das ondas em águas profundas isentas do efeito de abrigo promovido pelo cabo Raso, motivo pela qual apresentam valores de altura de onda maiores que os observados no campo. Estes são medidos com o transdutor que é colocado antes do ponto de rebentação, de modo a registar os parâmetros das ondas que interessam para aplicação a este estudo.

4.1. Agitação ao largo

Os dados referentes à agitação marítima associados ao dia 27 de Outubro foram obtidos a partir da bóia ondógrafo de Leixões e disponibilizados no website www.hidrografico.pt. Retiraram-se apenas os 32 registos entre 2014-10-27 10:00 +0000 e 2014-10-27 15:10 +0000. Nestes registos foi considerada a altura significativa (H_s) (m), a altura máxima (H_{max}) (m), o período médio (T_z) (s), o período máximo (T_{max}) (s) e a direcção (por octantes) das ondas. A listagem desta informação encontra-se discriminada numa tabela no Anexo A.

Durante a propagação em direcção à praia, as ondas são refractadas ao longo da plataforma continental e afectadas pelos efeitos de abrigo determinados pelo desenvolvimento planimétrico da linha de costa entre os cabos da Roca, Raso e ponta de S. Julião da Barra, bem como pela morfologia dos fundos do estuário exterior do Tejo. (Figura II. 3). A grande maioria das ondas medidas ao largo apresenta um rumo de NW, sendo a segunda direcção a de NNW.

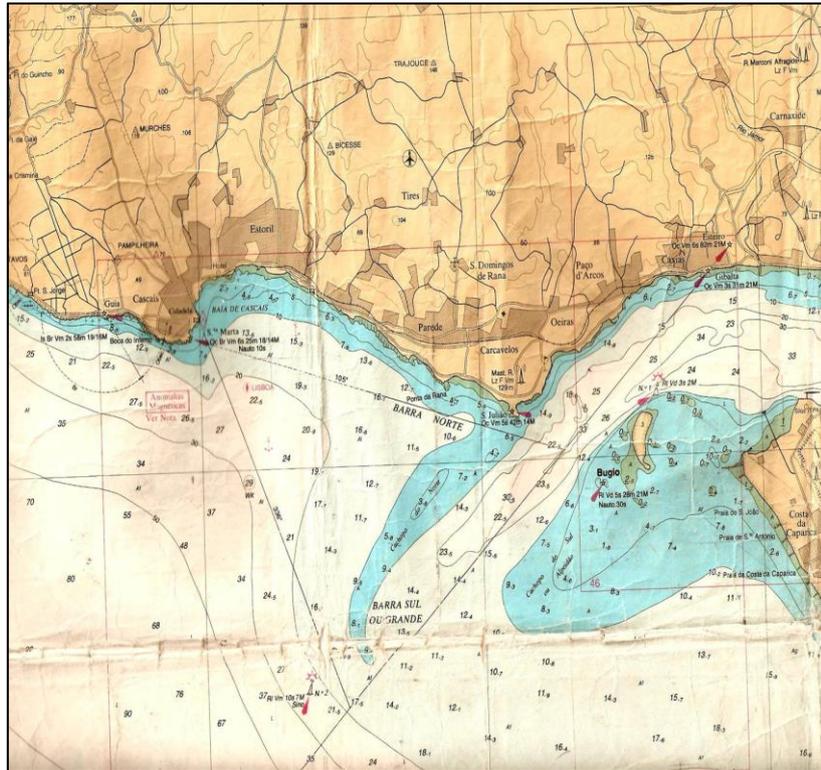


Figura II. 3 – Extracto da Carta Hidrográfica 37 (IH, 1987).

Nas Figura II. 4 e Figura II. 5 encontra-se a representação gráfica da variação temporal das alturas significativa e máxima e dos períodos médio e máximo, medidos na bóia de Leixões.

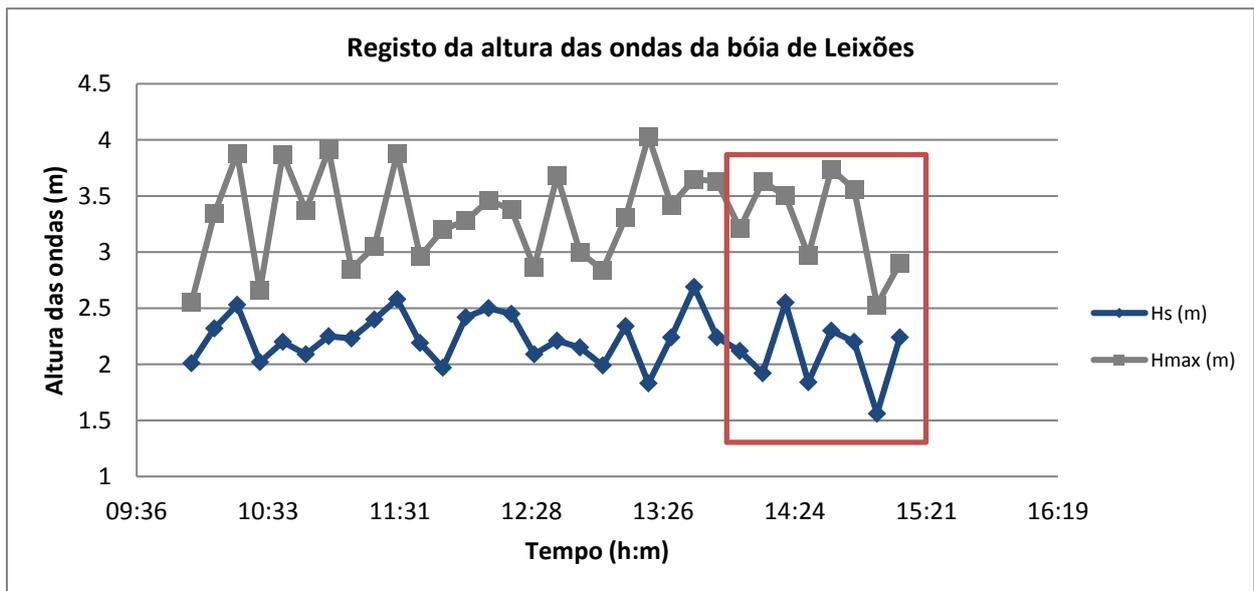


Figura II. 4 – Representação gráfica das alturas significativa (H_s) e máxima (H_{max}) retiradas da bóia de Leixões. O retângulo vermelho indica o intervalo de tempo no qual se deram as medições no campo.

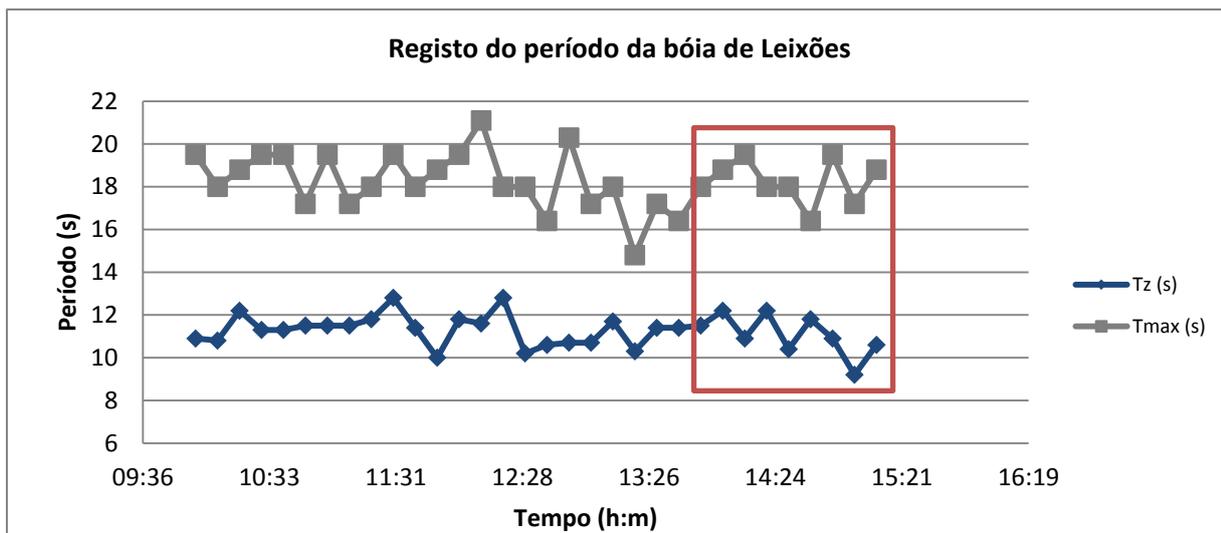


Figura II. 5 – Representação gráfica dos períodos médio (T_z) e máximo (T_{max}) retirados da bóia de Leixões. O retângulo vermelho indica o intervalo de tempo no qual se realizaram as medições no campo.

4.2. Agitação junto à costa

O transdutor fornece um registo com a data e hora das medições, bem como a pressão já convertida em profundidade (m). Para poder caracterizar as ondas na rebentação, o sensor deve ser colocado dentro de água, preferencialmente atrás da zona de rebentação. No dia anterior à saída de campo, programou-se o transdutor para iniciar as medições às 13h00 do dia 27. Já no campo, prendeu-se o transdutor a uma estaca metálica, que foi colocada dentro de água durante 15 minutos, dos quais se escolheram 10 (14h06 – 14h16) para os cálculos que se seguem. O sensor que efectuou as medições ficou a 0.07 m do chão e a 1.34 m do topo da estaca (Figura II. 6).

No tratamento dos registos obtidos foi necessário retirar a influência da pressão atmosférica. Para tal calculou-se a média dos registos que se encontravam fora de água e retirou-se a cada um dos registos esse valor. Estes valores correspondem à coluna de água acima do transdutor. Somando a estes valores os sete centímetros correspondentes à distância do transdutor ao fundo, obtém-se a altura da coluna de água. Se aos valores da coluna de água acima do transdutor for somado o valor da cota a que está o transdutor obtém-se a cota da superfície livre. A tabela com os valores agora referidos encontra-se no Anexo B.

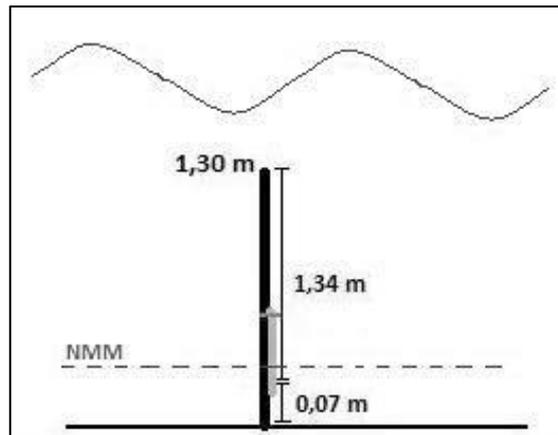


Figura II. 6 – Representação esquemática da montagem do transdutor.

Para estimar o valor da altura significativa das ondas utilizou-se a expressão (31).

$$H_s = 4 * \sigma \quad (31)$$

Em que σ corresponde ao desvio padrão dos valores da superfície livre.

Na tabela seguinte apresentam-se os valores da altura significativa e da profundidade de rebentação. Esta foi calculada através da média dos valores da coluna de água (m).

Tabela II. 1 – Valores da altura significativa e profundidade de rebentação, calculados através do transdutor.

Hs (m)	Profundidade de rebentação (h*) (m)
0.46	0.62

4.3. Espraio

Como se verificou no campo, o impacto dos sucessivos espraio na base da duna é a principal força que origina e mantém activo o processo de erosão. Através dos filmes realizados no campo foi possível determinar a velocidade inicial do espraio, ou seja, logo após a rebentação, e a velocidade com que chegou à base da duna.

Iniciando-se a análise dos filmes deparou-se com uma dificuldade. Para se poder calcular a velocidade de saída do espraio (u_s) e as velocidades deste até chegar à base da duna é necessário ter a distância percorrida e o intervalo de tempo correspondente. Inicialmente realizou-se o tratamento dos filmes através do *Windows Media Player*, mas os erros associados ao intervalo de tempo eram grandes, uma vez que não se encontrou forma de determinar o tempo em segundos (apenas em hh:mm). De seguida procedeu-se ao tratamento dos filmes com o *Video LAN Creator Media Player (VLC Media Player)* que permite tirar fotografias enquanto decorre o filme. Mas, mais uma vez, se associaram erros ao intervalo de tempo, embora mais pequenos que os anteriores. Apesar de estar já convertido para minutos e segundos, o intervalo de tempo entre cada fotografia tinha associado o tempo de ter de parar o filme para fotografar e voltar a iniciar a gravação. Por último, recorreu-se ao programa *Video to Picture Image Converter 3*. Este programa permite converter os filmes em fotografias (designadas por *frames*).

Ao inserir no programa o filme que se pretende converter obtém-se toda a informação referente ao filme. Uma das informações refere-se à quantidade de fotografias que existem por segundo. Para todos os filmes convertidos o valor foi de 23,98 adoptando-se o valor de 24 fotografias por segundo. Com esta informação foi possível determinar qual a distância percorrida pelo espraio, bem como a sua velocidade em cada momento. As medições realizaram-se de meio em meio segundo, ou seja, de 12 em 12 fotografias.

Das 169 ondas, 122 atingiram a base das dunas. Destas registaram-se medições das velocidades para 4 ondas. O número reduzido de ondas com velocidades registadas deve-se ao facto de algumas ondas rebentaram sobre outras, dificultando a interpretação dos valores da velocidade e da distância.

Na tabela que se segue, a denominação do filme com os valores 1094, 1098, 1099 e 1101 refere-se ao nome dado aos filmes após a sua gravação no campo, correspondendo, respectivamente, ao primeiro, quinto, sexto e oitavo filme.

Na tabela é apresentado o número de cada fotografia a que corresponde um intervalo de tempo de 0.5 s (12 em 12 imagens), exceptuando as duas primeiras fotografias da primeira onda. A distância entre o limite do espraio e a base da duna, medida

directamente nas fotografias (em cm) é designada por h ; h' corresponde à distância estimada no terreno (em m). $\Delta h'$ corresponde à distância percorrida pelo espraio em cada intervalo de tempo, u_s é a velocidade do espraio. A coluna “Distância ao início do perfil (m)” foi calculada para facilitar a projecção dos espraio no perfil da duna. Ao valor da distância correspondente à base da duna (17.22 m) foi retirado o valor de h' . As cotas do espraio (C_{esp}) foram estimadas com base no perfil topográfico.

A primeira linha de cada filme corresponde ao momento em que a onda rebenta. Consequentemente o valor da velocidade inicial do espraio corresponde ao segundo valor.

Abaixo da tabela colocaram-se as projecções gráficas correspondentes às velocidades dos espraio ao longo da distância desde o início do espraio até à base da duna. Estas não têm em conta os valores que se encontram dentro das células destacadas de cinzento, uma vez que estes valores foram considerados anómalos, e estão provavelmente associados a fenómenos de interacção de onda-onda.

No final representa-se o perfil da duna com as projecções dos quatro espraio (Figura II. 11).

Capítulo II – Aplicação e validação em condições de baixa energia

Tabela II. 2 – Registos das distâncias percorridas pelo espraio em cm e metros (h e h'), distância ao início do perfil em metros, velocidade inicial (u_s) e cotas dos espraio (C_{esp}) para as quatro ondas escolhidas.

Filme	n° da fotografia	h (cm)	h' (m)	$\Delta h'$ (m)	u_s (m/s)	Distância ao início do perfil (m)	C_{esp} (m)
1094	198	12.0	6.42	0.00	0.00	10.80	0.62
	222	7.9	4.22	2.19	2.19	13.00	0.79
	234	7.1	3.80	0.43	0.86	13.42	0.84
	246	5.2	2.78	1.02	2.03	14.44	0.92
	258	3.4	1.82	0.96	1.92	15.40	1.01
	270	2.3	1.23	0.59	1.18	15.99	1.06
	282	1.2	0.64	0.59	1.18	16.58	1.13
	294	0.4	0.21	0.43	0.86	17.01	1.15
	306	0	0.00	0.21	0.43	17.22	1.21
1098	1510	9.5	5.08	0	0	12.14	0.72
	1522	7.5	4.01	1.07	2.14	13.21	0.82
	1534	6	3.21	0.80	1.60	14.01	0.89
	1546	4.8	2.57	0.64	1.28	14.65	0.94
	1558	3.3	1.76	0.80	1.60	15.46	1.01
	1570	1.9	1.02	0.75	1.50	16.20	1.07
	1584	0	0.00	1.02	1.75	17.22	1.21
1099	2110	7.7	4.12	0	0	13.10	0.82
	2122	6	3.21	0.91	1.82	14.01	0.89
	2134	4.7	2.51	0.70	1.39	14.71	0.95
	2146	3.5	1.87	0.64	1.28	15.35	0.99
	2158	2.5	1.34	0.53	1.07	15.88	1.04
	2170	1.5	0.80	0.53	1.07	16.42	1.1
	2182	0.5	0.27	0.53	1.07	16.95	1.17
	2194	0	0	0.27	0.53	17.22	1.21
1101	6612	9	4.81	0	0	12.41	0.75
	6624	7	3.74	1.07	2.14	13.48	0.84
	6636	5.5	2.94	0.80	1.60	14.28	0.91
	6648	4.5	2.41	0.53	1.07	14.81	0.95
	6660	4	2.14	0.27	0.53	15.08	0.97
	6672	2.5	1.34	0.80	1.60	15.88	1.04
	6684	1.5	0.80	0.53	1.07	16.42	1.1
	6696	1	0.53	0.27	0.53	16.69	1.13
	6708	0.5	0.27	0.27	0.53	16.95	1.16
	6720	0.2	0.11	0.16	0.32	17.11	1.18
	6732	0.1	0.05	0.05	0.11	17.17	1.19
	6744	0	0	0.05	0.11	17.22	1.21

Analisando as velocidades iniciais calculadas para cada onda (2.19, 2.16, 1.82, 2.14) pode afirmar-se que os valores se encontram muito próximos do valor da velocidade de fase calculado tendo em conta as características das ondas. Ou seja, para uma profundidade de rebentação de 0.62 metros, uma altura da onda de 0.46 metros o critério de rebentação será igual a 0.75. A onda encontra-se em águas rasas pelo que a velocidade de fase será dada pela expressão seguinte

$$c = \sqrt{gH_b} = \sqrt{9.81 \times 0.46} = 2.13 \text{ m/s} \quad (32)$$

Uma outra aproximação da velocidade do espraio é dada por Van Rijn (2013), a qual assume que o gradiente de pressão e o atrito são idênticos, onde α_1 é um coeficiente que descreve estes dois termos. Considerando $\alpha_1 = 0$ a velocidade será,

$$c = -g(1 + \alpha_1) \sin \beta_f = -9.81(1 - 0) \sin 3.7 = 5.2 \text{ m/s} \quad (33)$$

Nas figuras seguintes observam-se as projecções das velocidades (m/s) contra a distância à base da duna.

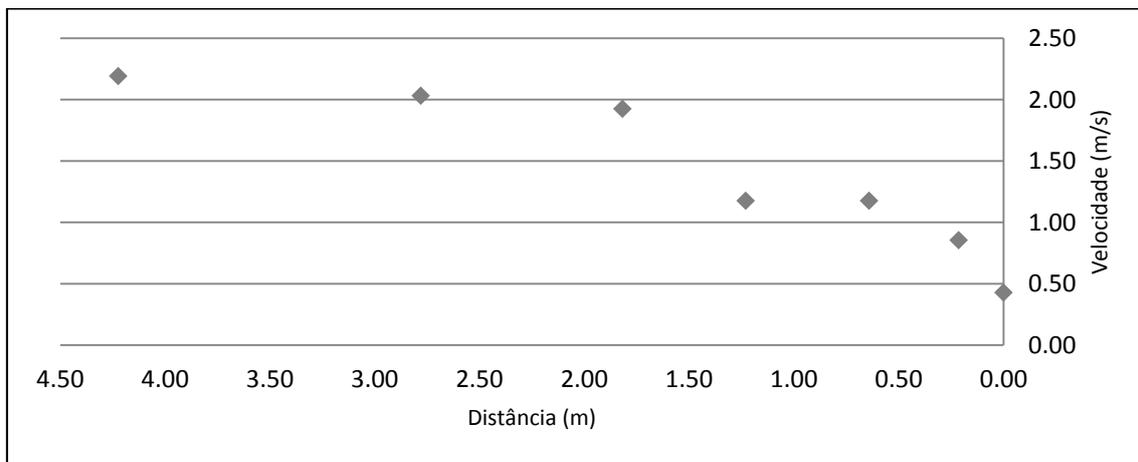


Figura II. 7 – Projecção da velocidade do espraio da onda 1 contra a distância desde o início do espraio até à base da duna.

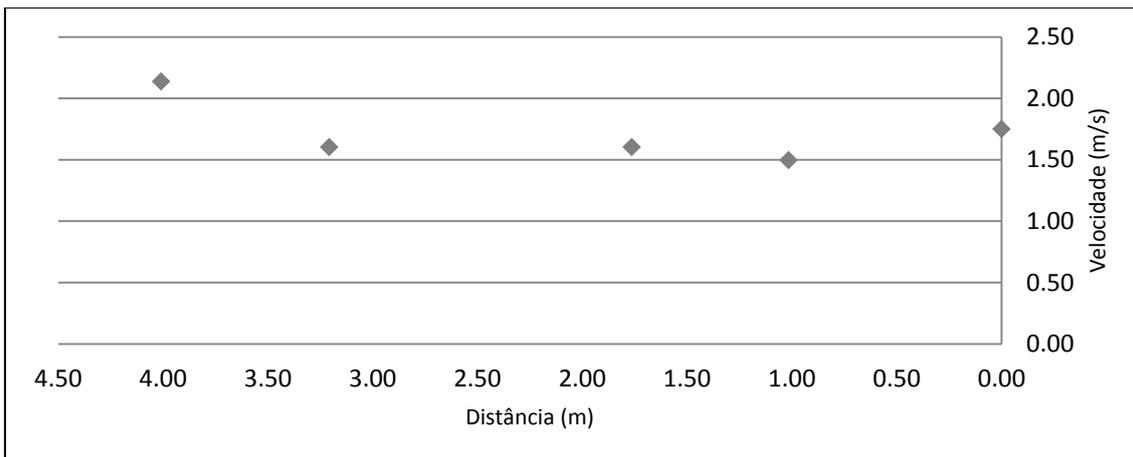


Figura II. 8 – Projecção da velocidade do espraio da onda 2 contra a distância desde o início do espraio até à base da duna.

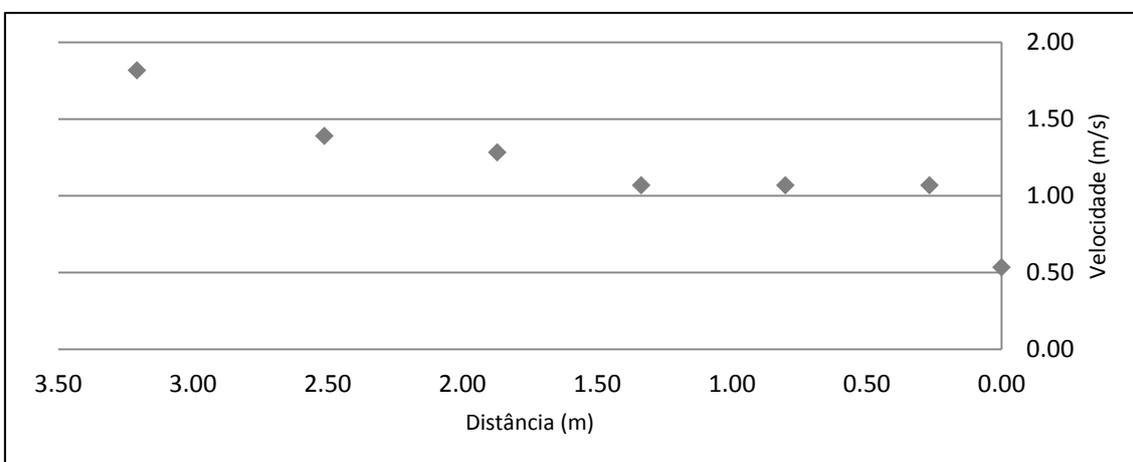


Figura II. 9 – Projecção da velocidade do espraio da onda 3 contra a distância desde o início do espraio até à base da duna.

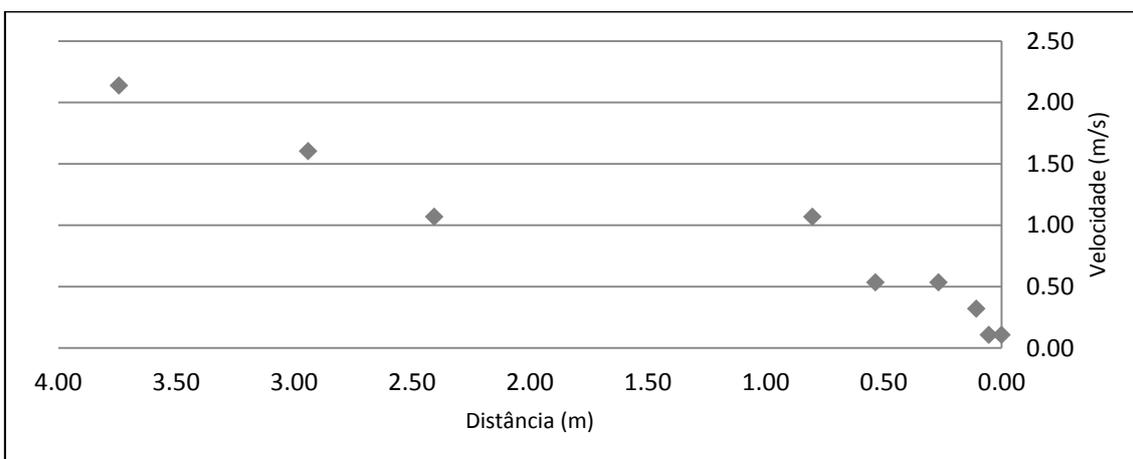


Figura II. 10 – Projecção da velocidade do espraio da onda 4 contra a distância desde o início do espraio até à base da duna.

Analisando as figuras anteriores, verifica-se que a velocidade, em certos pontos, decresce, voltando depois a aumentar. Segundo Van Rijn (2013) quando o período das ondas (T) incidentes é menor que o período do movimento do espraio, o novo espraio gerado interfere (sobrepõe-se) com a ressaca da onda anterior podendo gerar dois efeitos: 1) aumento do atrito que actua no novo espraio devido à ressaca da onda anterior, diminuindo a velocidade nesse ponto; 2) rebentação da nova onda mais perto da duna devido à colisão com a ressaca da onda anterior.

O primeiro efeito pode ser a explicação para a singularidade das projecções, uma vez que através das fotografias se torna impossível retirar o efeito da ressaca da onda que rebentou imediatamente antes da onda medida.

Na Figura II. 11 encontram-se projectados sobre o perfil da duna 1, os quatro espraio analisados acima.

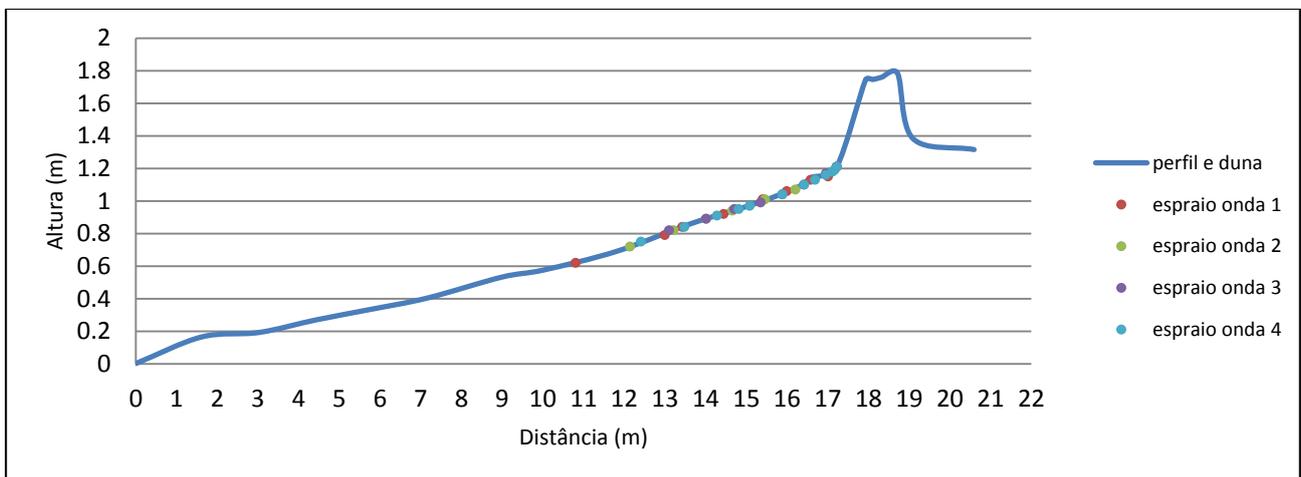


Figura II. 11 – Projecção do perfil da duna juntamente com os espraio de cada uma das ondas medidas.

5. Marés

A maré que caracteriza a costa portuguesa é semi-diurna, ou seja, apresenta duas marés por dia. Para a marcação à ida ao campo teve-se em conta as alturas da maré (relativamente ao porto de Cascais) retiradas de <http://www.hidrografico.pt/previsao-mares.php>.

5.1. Maré Astronómica

Verificou-se, pela análise do *webwebsite* do Instituto Hidrográfico para o marégrafo de Cascais, que a primeira baixa-mar (BM) foi às 10h13 e a preia-mar (PM) correspondente às 16h28, com alturas de 0.81 e 3.24 metros, respectivamente (Tabela II. 3). Uma vez que a hora a que se efectuaram as medições (14h00) se encontra entre marés foi necessário calcular o seu valor. Para tal recorreu-se ao método analítico para o cálculo da maré em qualquer instante que se encontra no documento disponibilizado no *website* do Instituto Hidrográfico: Tabela de Marés – Volume I.

Na tabela seguinte encontra-se, além dos valores da BM e PM mais próximos da hora a que se iniciaram as medições. A duração da enchente foi de 6h15m e a amplitude da maré de 2.43 m.

Tabela II. 3 – Valores da PM e BM mais próximos da hora das medições feitas no campo, 14h00 (IH).

	Hora	Altura (m)
PM mais próximo	16h28m	3.24
BM mais próximo	10h13m	0.81

Assumindo que a forma da onda de maré é sinusoidal, o que não é rigorosamente verdadeiro, é possível determinar a altura de maré em qualquer instante e da hora correspondente a uma determinada altura de água com recurso a expressões analíticas. Isto é, conhecendo: os valores de H ou H1 e h (alturas de água das PM e BM que enquadram o intervalo de tempo no qual se vai efectuar o cálculo); o valor de T ou T1 (intervalo em tempo entre PM e BM ou BM e PM); o valor de t ou t1 (intervalo em tempo entre o evento imediatamente anterior (PM ou BM) e a hora a que se pretende saber a altura da maré) (Tabela de Marés, Capítulo I).

O intervalo desde a BM mais próxima é dado por

$$t_1 = 14h00 - 10h13 = 3h47m = 227 \text{ segundos} \quad (34)$$

O intervalo entre a BM e PM é dado por

$$T_1 = 16h28 - 10h13 = 6h15 m = 375 \text{ segundos} \quad (35)$$

No presente caso foi necessário o valor de: H_1 (3.24 m); h (0.81 m); t_1 (227 s) e T_1 (375 s). Estes parâmetros encontram-se esquematizados na figura seguinte.

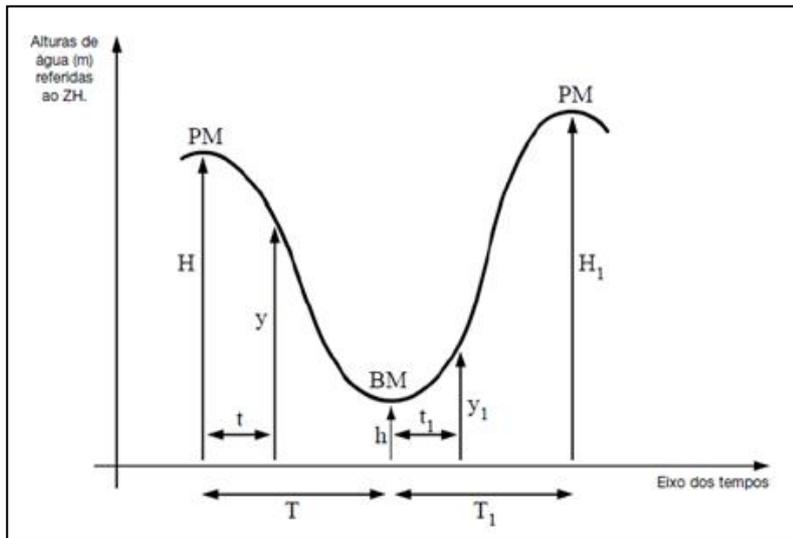


Figura II. 12 – Esquema representativo das alturas da BM e PM e das distâncias temporais entre cada. As medidas são feitas tendo como base o ZH. (IH, Tabela de Marés, Capítulo 1).

Observando a figura anterior verifica-se que o valor pretendido corresponde a y_1 cuja expressão é

$$y_1 = \frac{h+H_1}{2} + \frac{h-H_1}{2} \cos\left(\frac{\pi t_1}{T_1}\right) \quad (36)$$

Substituindo na expressão os valores de cada parâmetro obtém-se

$$y_1 = \frac{0.81+3.24}{2} + \frac{0.81-3.24}{2} \cos\left(\frac{227\pi}{375}\right) = 2.42 \text{ m} \quad (37)$$

Através do cálculo efectuado acima chegou-se a um valor da maré previsto, para o dia 27 de Outubro às 14h00, de 2.42 metros. Como foi dito este valor foi calculado com base no ZH sendo necessário retirar-lhe o seu valor. Deste modo a maré prevista para o dia 27 será

$$Y_1 = y_1 - ZH = 2.42 - 2.08 = 0.34 \text{ m} \quad (38)$$

5.2. Maré Observada

O valor da maré observada foi calculado através do transdutor de pressão, fazendo-se a média dos valores correspondentes à cota da superfície livre. O valor obtido foi de 0.59 m. Recorreu-se ainda ao marégrafo de Cascais, efectuando-se a média dos valores correspondentes aos 10 minutos analisados (14h06 – 14h16) obtendo-se o valor de 0.57 m. Uma vez que os valores são idênticos utilizar-se-á os dados adquiridos pelo transdutor de pressão.

Os valores correspondentes aos 10 minutos dentro de água foram colocados numa folha de *Excel* nova para poderem ser lidos pelo MATLAB. No MATLAB utilizou-se uma função – *spanprog.m* – que permite calcular os parâmetros das ondas. Para tal foi necessário dar a informação da cota do transdutor, da coluna do *Excel* que corresponde ao tempo e da que corresponde aos valores medidos. O valor da altura significativa das ondas (H_s) foi de 0.46 m. O valor observado no campo encontra-se na mesma ordem de grandeza do obtido pelo programa MATLAB.

Na Figura II. 13 observa-se a projecção dos valores feita em MATLAB: o registo a preto corresponde ao registo retirado do transdutor; o registo a azul corresponde ao registo sem o efeito da maré.

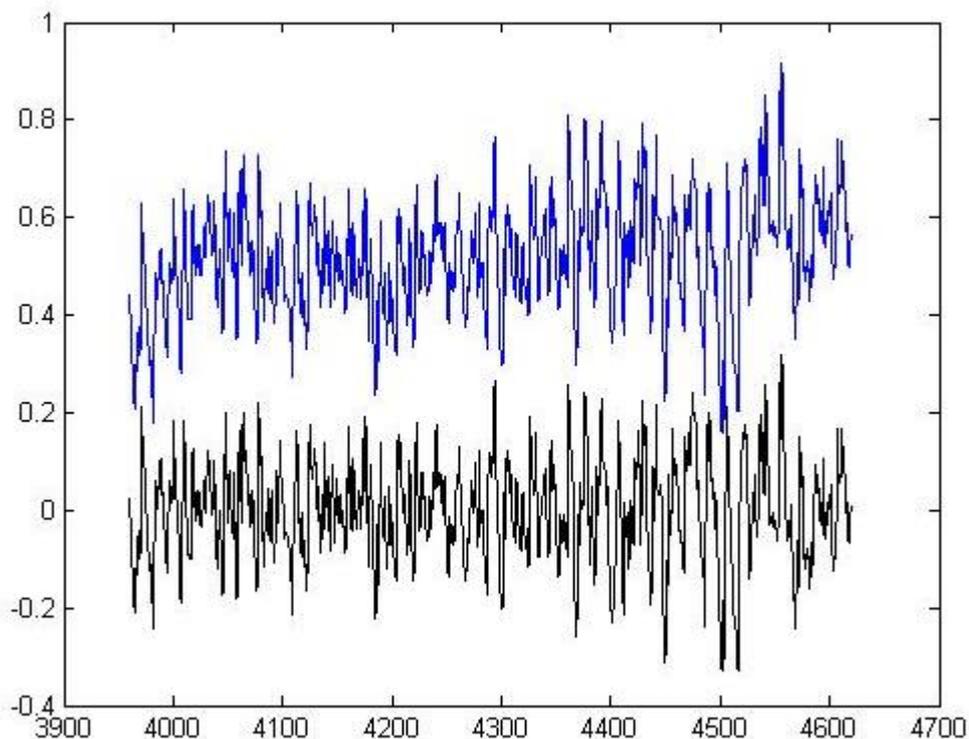


Figura II. 13 – Registo dos valores do transdutor (fonte: *MATLAB*).

5.3. Sobrelevação Meteorológica

Normalmente a sobrelevação meteorológica encontra-se associado aos eventos de tempestade. Esta é calculada pela diferença entre a maré observada e a maré astronómica (prevista) e está normalmente associada às descidas de pressão atmosférica.

Na Tabela II. 4 apresentam-se os valores da maré, prevista e observada, e da sobrelevação meteorológica já corrigida, calculados através dos registos do transdutor. De acordo como gráfico da imagem seguinte observa-se que o nível médio do mar em 2014 se encontrava 17.1 cm acima do nível de referência. Por este motivo foi necessário retirar ao valor da sobrelevação obtido os 0.17 m, obtendo-se um valor de sobrelevação para o dia 27 de Outubro de 2014 de 0.08 m.

Tabela II. 4 – Valores calculados com base no registo do transdutor.

Cota da maré observada (m)	Cota da maré prevista (m)	Sobrelevação meteorológica (m)
0.59	0.34	0.08

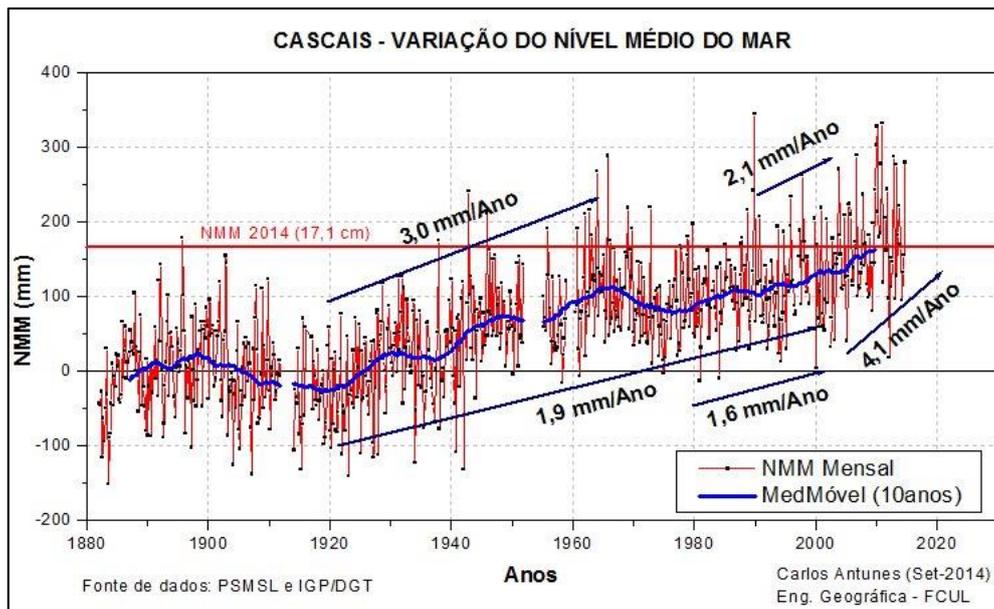


Figura II. 14 – Subida do Nível Médio do Mar em CASCAIS (Série de médias mensais) (Carlos Antunes, FCUL).

6. Topografia

Para a construção das dunas utilizaram-se duas pás. Para manter o declive constante as dunas foram construídas com areia retirada da parte posterior (Figura II. 15A). As dunas foram construídas tendo-se o cuidado de as alongar evitando assim a erosão lateral. As dunas serão designadas, nas próximas referências ao longo da dissertação, por duna 1 e duna 2 tratando-se, respectivamente, da duna de maiores dimensões e da duna mais pequena. A duna 1 foi construída com 55 cm de altura e 3.9 m de comprimento; a duna 2 foi construída com 33 cm de altura e 1.20 m de comprimento. A medição, antes e durante o processo de erosão, das estacas colocadas sobre as dunas permitiu calcular qual o rebaixamento sofrido durante o processo de erosão. Sobre a duna 1 colocaram-se 3 estacas e 4 sobre a duna 2. (Figura II. 15B).



Figura II. 15 – Construção das dunas; B – Dunas com as respectivas estacas: B1 –duna 1; B2 – duna 2.

Utilizaram-se também duas estacas para a marcação da base das dunas (Figura II. 16). A medição foi realizada com uma fita métrica, pelo que os resultados apresentam os erros associados ao método. Com o DGPS em modo RTK retirou-se a cota nos pontos onde foram colocadas as estacas para posterior projecção e realização dos perfis das dunas.



Figura II. 16 – Vista lateral das dunas com as respectivas estacas.

Após a campanha de campo os dados do DGPS foram descarregados para um computador e tratados com o recurso das ferramentas do ArcGIS e do Excel.

Na Figura II. 17 apresenta-se a localização planimétrica das duas dunas, perfis topográficos efectuados e a localização do transdutor no momento de aquisição dos parâmetros. Na Figura II. 18 e Figura II. 19 é possível observar os perfis das dunas, bem como a marcação do ponto de rebentação inicial (14h00). Este encontrava-se a uma distância de 6,52 metros.



Figura II. 17 – Projecção das duas dunas construídas no campo (fonte: ArcGIS).

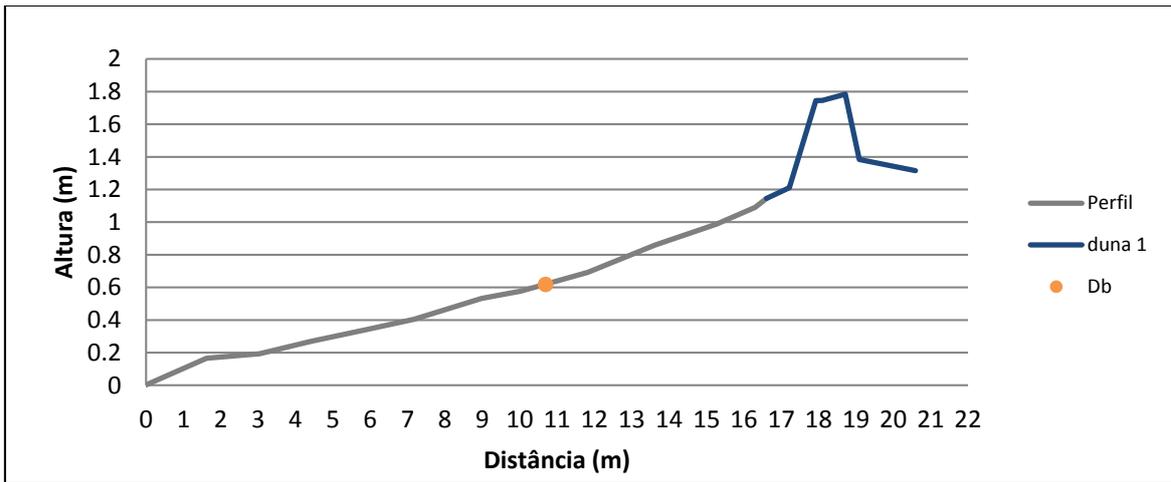


Figura II. 18 – Projecção do perfil de praia e da duna 1 com a marcação do ponto de rebentação (D_b) às 14h00.

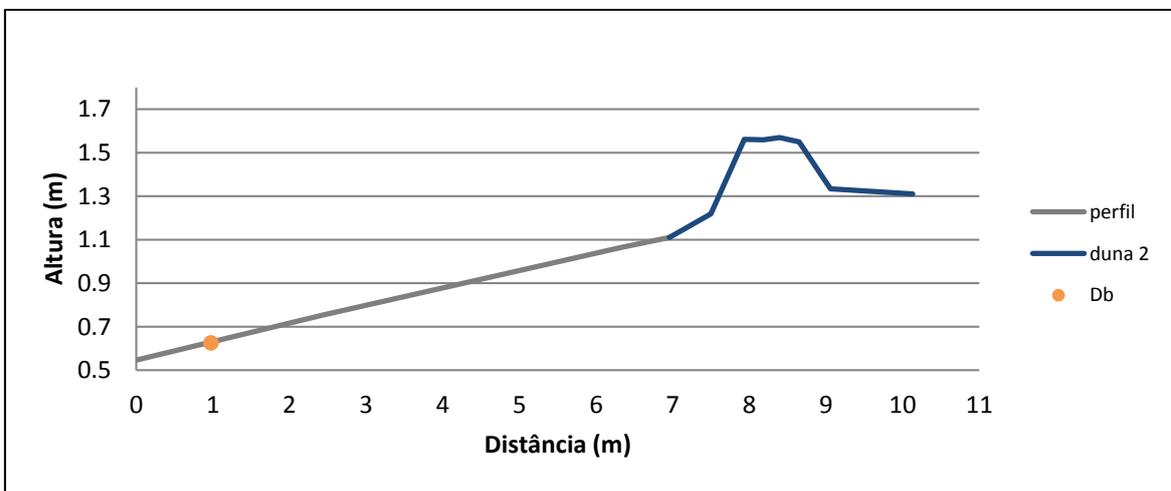


Figura II. 19 – Projecção do perfil de praia e da duna 2. com a marcação do ponto de rebentação (D_b) às 14h00.

Com base nos filmes realizados no campo foi possível calcular a distância, relativamente à base das dunas, a que cada onda estava a rebentar. Tendo esta distância foi possível calcular o ponto de rebentação médio para cada filme. Estes pontos encontram-se projectados sobre o perfil das dunas, como se pode observar nas figuras seguintes.

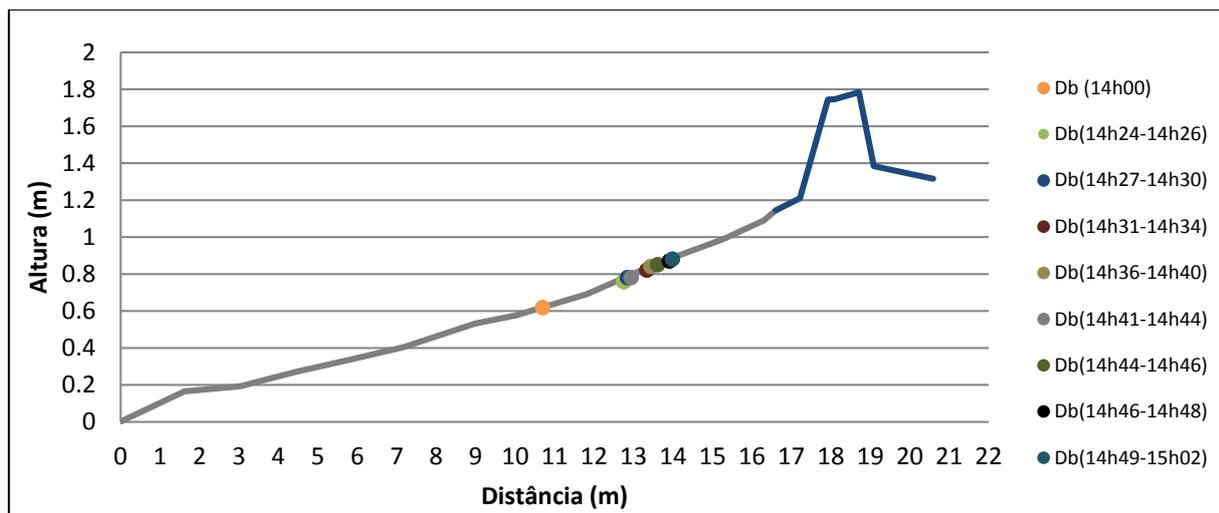


Figura II. 20 – Projecção dos pontos médios de rebentação, realizados ao longo do processo de erosão com base nos filmes, sobre o perfil da duna 1.

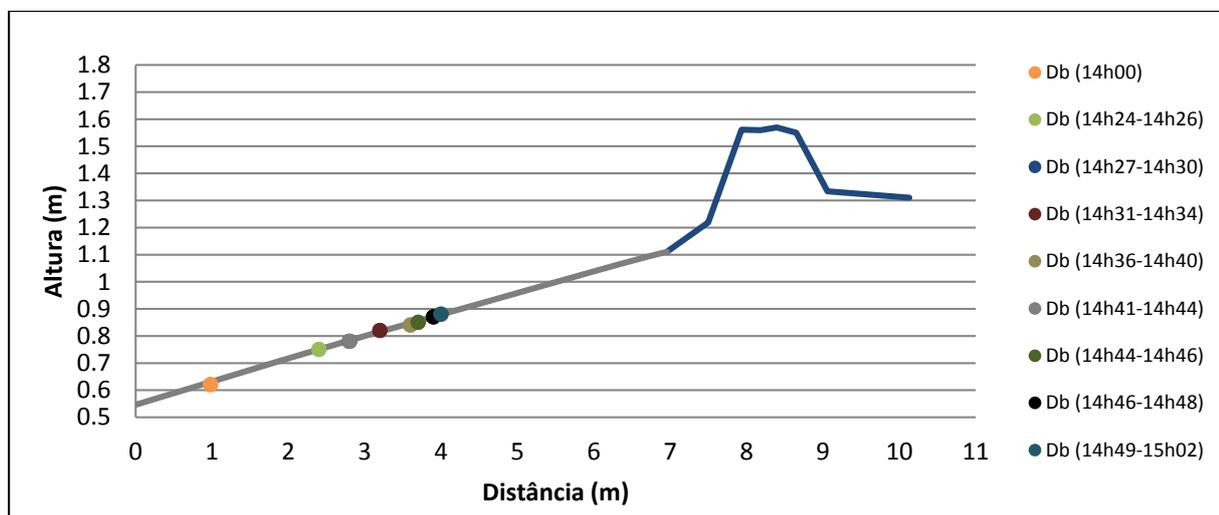


Figura II. 21 – Projecção dos pontos médios de rebentação, realizados ao longo do processo de erosão com base nos filmes, sobre o perfil da duna 2.

Analisando as duas figuras acima é possível verificar que o ponto de rebentação se foi aproximando da base das dunas. Este avanço deve-se à subida da maré. Na Tabela II. 5 encontram-se os valores da altura e distância ao início do perfil correspondentes a cada ponto de rebentação médio, para a projecção sobre as dunas.

Tabela II. 5 – Alturas e distâncias correspondentes aos pontos médios de rebentação calculados com recurso aos filmes, para projecção sobre o perfil das duas dunas.

Horas	Cota (m)	Distância ao início do perfil da duna 1 (m)	Distância ao início do perfil da duna 2 (m)
14h00	0.62	10.7	0.98
14h24-14h26	0.76	12.75	2.4
14h27-14h30	0.78	12.85	2.8
14h31-14h34	0.82	13.34	3.2
14h36-14h40	0.84	13.44	3.6
14h41-14h44	0.78	12.94	2.8
14h44-14h46	0.85	13.61	3.7
14h46-14h48	0.87	13.91	3.9
14h49-15h02	0.88	13.99	4

A Figura II. 22 e Figura II. 23 representam em pormenor os perfis iniciais das duas dunas construídas no campo com as respectivas estacas, colocadas no topo e base da duna. As estacas foram registadas com números, começando do mar para terra. A linha a tracejado representa a base da duna e a linha preta a cheio representa a altura da duna. No caso da duna 1 a altura foi de 0.55 m, na duna 2 foi de 0.33 m.

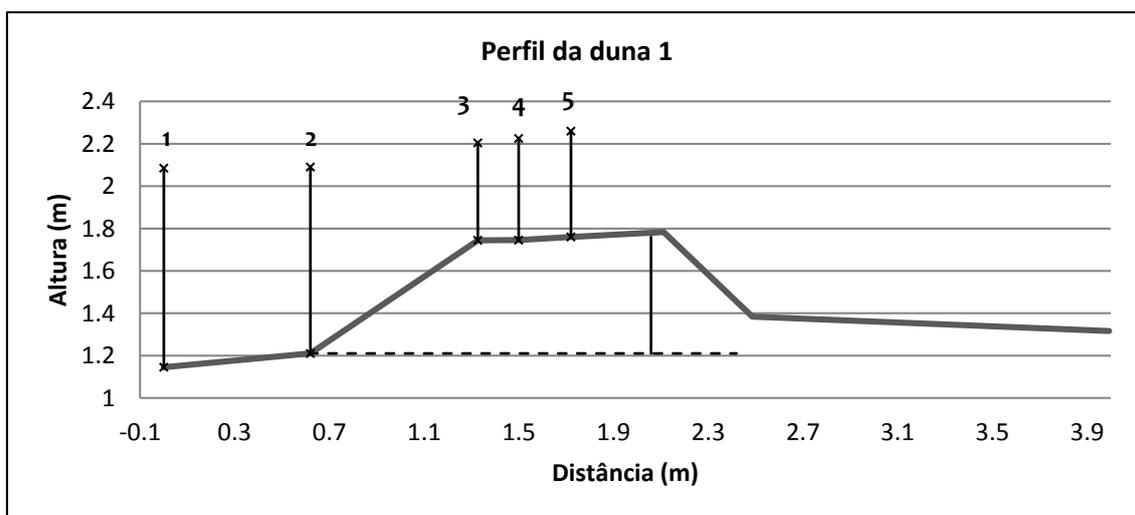


Figura II. 22 – Projecção do perfil da duna 1 com as respectivas estacas.

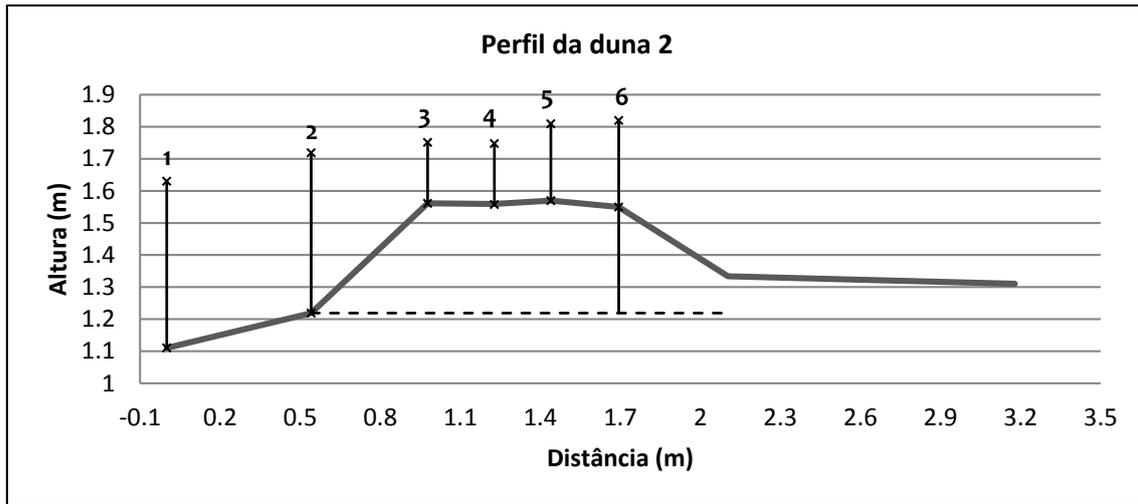


Figura II. 23 – Projecção do perfil da duna 2 com as respectivas estacas.

7. Sedimentologia

A amostragem de sedimentos da praia foi efectuada apenas na berma da praia uma vez que se observou a homogeneidade dos sedimentos ao longo do perfil. A amostra foi tratada em laboratório tendo sido realizada uma granulometria para se obter o valor dimensão média das partículas.

No Laboratório de ProCost do GeoFCUL lavou-se a amostra com água corrente para se retirar o sal. Após a lavagem foi seca na estufa (Blinder) a 105°C durante 24 horas. Depois de seca, foi quarteada até se obter 80 a 100 g de sedimento, e esta toma foi colocada numa série de crivos, para se efectuar a separação dimensional, a intervalos regulares de $\frac{1}{2} \phi$. Devido a limitações do equipamento de agitação, foram utilizadas duas séries de crivos: uma de -2ϕ a 0ϕ e outra de $0,5\phi$ a 4ϕ . Os crivos foram colocados no agitador (Retsch®) que trabalhou durante 15 minutos em cada série de crivos. No final, a coluna de crivos foi retirada, desmontada, e a fracção sedimentar retida em cada crivo pesada e acondicionada em sacos referenciados.

A amostra revela uma grande homogeneidade do ponto de vista textural. O sedimento é arenoso, embora no terreno se tenham observado, junto à linha do espraio, alguns seixos rolados. A média gráfica traduz a granularidade (calibre) do sedimento. Para a praia em estudo o sedimento corresponde a areia fina, uma vez que o diâmetro médio é de 2.26ϕ (equivalente a 209 micras). A classificação sedimentar foi feita com base na tabela fornecida pelo programa GRADISTAT8 (Figura II. 24).

Grain Size		Descriptive term
phi	mm	
-10	1024	Very Large
-9	512	Large
-8	256	Medium
-7	128	Small
-6	64	Very small
-5	32	Very coarse
-4	16	Coarse
-3	8	Medium
-2	4	Fine
-1	2	Very fine
0	1	Very coarse
1	microns	Coarse
2	500	Medium
3	250	Fine
4	125	Very fine
5	63	Very coarse
6	31	Coarse
7	16	Medium
8	8	Fine
9	4	Very fine
	2	Clay

Figura II. 24 – Escala de tamanho das partículas, adoptada pelo programa *GRADISTAT*, modificada por Udden (1914) e Wentworth (1922) (*GRADISTAT*).

8. Erosão dunar

Neste subcapítulo pretende-se determinar a erosão observada através do cálculo da variação de área das duas dunas construídas.

Para o cálculo da erosão dunar utilizaram-se as medições das estacas, feitas ao longo do tempo (Tabela II. 6). No caso da duna 1 as medições iniciaram-se às 14h00 e terminaram às 15h05, pois a partir desta hora as ondas começaram a galgar a duna fazendo com que o processo erosivo deixasse de ser regido pelo impacto das ondas na base da duna. No caso da duna 2 efectuaram-se medidas até às 14h50. Após esta hora as ondas destruíram a duna por completo.

O registo apresentado na tabela referente às estacas foi o adoptado no campo, uma vez que era este o registo que se encontrava preso nas estacas (exceptuam-se as estacas designadas de “sem nome” e “aço”).

Por ser mais pequena, a duna 2 foi galgada mais vezes. Como consequência verificou-se uma maior redução na altura e também uma erosão mais rápida.

Tabela II. 6 – Registo das medições das alturas das estacas ao longo do processo erosivo.

Estaca	Duna	Hi1 (14h00)	Hi2 (14h30)	Hi3 (14h40)	Hi4 (14h50)	Hi5 (15h05)
E1	1	0.94	0.93	0.94	Caiu estaca	Caiu estaca
E2	1	0.88	0.89	0.90	0.86	0.85
Sem nome	1	0.46	0.46	0.46	0.57	Caiu estaca
Aço	1	0.48	0.49	0.49	0.56	0.95
E13	1	0.5	0.49	0.49	0.5	0.79
E7	2	0.52	0.52	0.50	0.49	Duna erodida
E8	2	0.5	0.54	0.54	0.51	
E9	2	0.19	0.21	0.21	0.47	
E10	2	0.19	0.2	0.2	0.46	
E11	2	0.24	0.25	0.25	0.35	
E12	2	0.27	0.28	0.28	0.4	

Ao analisar estes registos verificou-se que se tornavam insuficientes, pois no campo não foi medida a distância a que a estaca 2 (colocada na base da duna) foi ficando da base da duna à medida que se dava o recuo, nem se mediu a altura da duna em cada momento. Foi necessário recorrer às fotografias e filmes realizados no campo. Deste modo foi possível reconstruir a posição e altura das dunas em cada momento.

Para se obter os valores da distância da base da duna à estaca 2 recorreu-se aos filmes. As cotas das estacas 4 e 5 serviram de referência. Sabendo qual a distância entre estas duas estacas no filme (em centímetros) e sabendo a distância em metros (registadas pelo DGPS) foi possível determinar com maior precisão as distâncias em metros da base da duna à estaca 2 em cada momento. Recorrendo-se ao sexto filme realizado em campo (registado como filme 1099) que corresponde às 14h44 corrigiu-se a distância da estaca 2 à base. Através do último filme realizado no campo (filme 1101) corrigiu-se, com o 1 minuto (14h50) as distâncias da estaca 2 às restantes estacas. Os 11 minutos do filme (15h00) usaram-se para corrigir a curva das 15h00. Do mesmo modo se procedeu para as correcções das alturas que a duna ia adquirindo com a erosão. O processo foi idêntico no que diz respeito à duna 2.

As projecções dos perfis das dunas ao longo do processo erosivo podem observar-se nas figuras seguintes.

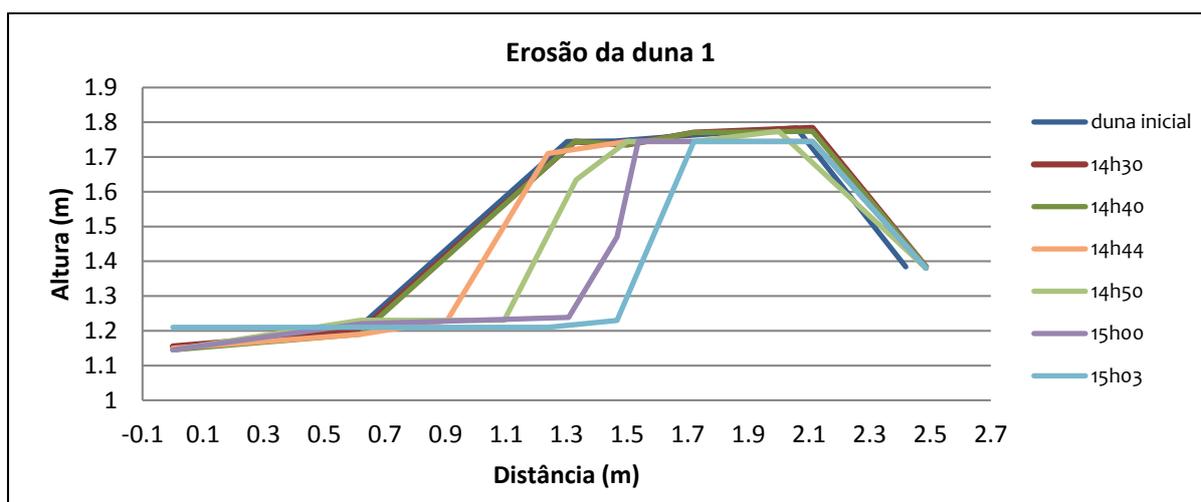


Figura II. 25 – Evolução da erosão dunar para a duna 1.

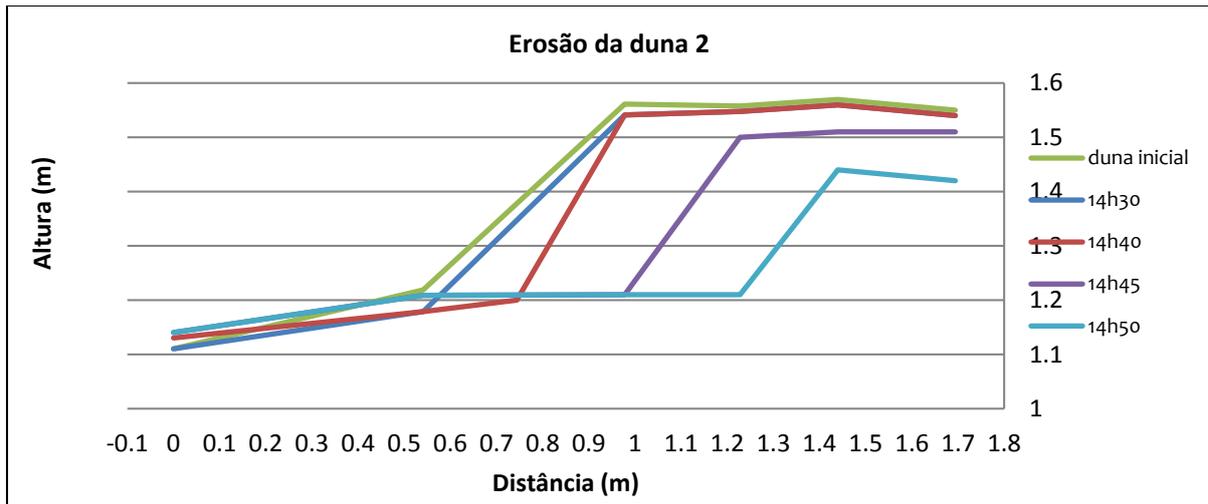


Figura II. 26 – Evolução da erosão dunar para a duna 2.

Analisando as figuras acima, é possível observar que o recuo da frente da duna se deu próximo da vertical. Os valores usados nas projecções encontram-se na Tabela II. 7 e Tabela II. 8.

Tabela II. 7 – Cotas correspondentes às diferentes posições da duna 1 ao longo do processo erosivo.

Distância (m)	14h00	14h30	14h40	14h44	14h50	15h00	15h03
0.00	1.15	1.16	1.15	1.15	1.15	1.15	1.21
0.62	1.21	1.20	1.19	1.19	1.23	1.22	1.21
0.91				1.23			
1.09					1.23		
1.24				1.71			1.21
1.31						1.24	
1.33	1.74	1.74	1.74		1.63		
1.47						1.47	1.23
1.50	1.75	1.74	1.74	1.74	1.74		
1.54						1.74	
1.72	1.76	1.77	1.77	1.74	1.74	1.74	1.74
2.11	1.78	1.78	1.77	1.74	1.74	1.74	1.74
2.49	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38

Na Tabela II. 7 os valores que estão a negrito (nas três primeiras alturas correspondem aos 5 primeiros valores) referem-se às 5 estacas que foram colocadas na duna. Os últimos dois valores são cotas medidas com o DGPS sobre a duna onde não havia estacas. A partir das 14h44 foi adicionado um valor entre a estaca 2 e a estaca 3. Este indica a posição da base da duna, que foi recuando ao longo do tempo. Na última medição (15h03)

este valor intermédio não aparece uma vez que a estaca 3 se encontrava a marcar a base da duna.

Tabela II. 8 – Cotas correspondentes às diferentes posições da duna 2 ao longo do processo erosivo.

Distância (m)	14h00	14h30	14h40	14h45	14h50
0.00	1.11	1.11	1.13	1.14	1.14
0.54	1.22	1.18	1.18	1.21	1.21
0.74			1.20		
0.98	1.56	1.54	1.54	1.21	1.21
1.23	1.56	1.55	1.55	1.50	1.21
1.44	1.57	1.56	1.56	1.51	1.44
1.69	1.55	1.54	1.54	1.51	1.42

No caso da duna 2 o único momento em que a base da duna não estava registada pela presença de uma das estacas corresponde ao terceiro valor da altura das 14h40. Às 14h45 a estaca 3 passou a ser a base da duna. Cinco minutos depois a base já era marcada pela estaca 4. Isto indica que houve uma maior taxa de erosão nos últimos cinco minutos na duna 2.

Para se obter a taxa de recuo foi necessário calcular os volumes inicial e final das dunas. Para tal projectaram-se os perfis das dunas e colocaram-se sobre as fotografias correspondentes às fases iniciais e finais (Figura II. 27). Como se observa na Figura II. 27 e Figura II. 28, a forma das dunas assemelha-se a um trapézio. Com base nesta aproximação geométrica calculou-se a área e o volume das dunas através das fórmulas da área e volume do trapézio.

$$A_{tpz} = \frac{B+b}{2} * h \quad (39)$$

Em que B e b correspondem à largura da base e do topo da duna, respectivamente; e h à altura.

$$V_{tpz} = A_{tpz} * L_d \quad (40)$$

Em que L_d é o comprimento da duna.

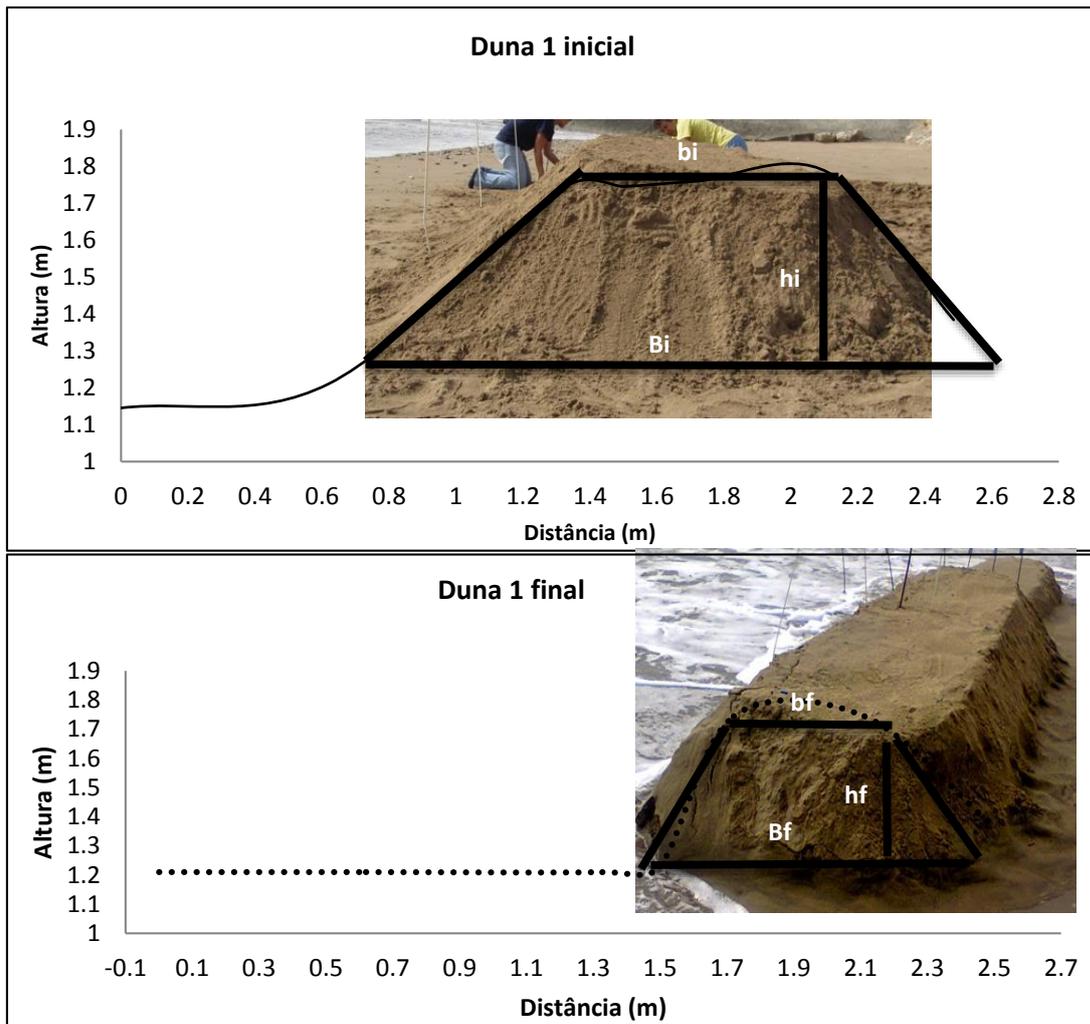


Figura II. 27 – Duna 1 na fase inicial e final. A forma trapezoidal foi desenhada por cima para facilitar o cálculo da área e do volume da duna.

Após a projecção das diferentes posições da duna foi possível calcular as áreas e os volumes. Os valores podem ser observados na tabela seguinte.

Tabela II. 9 – Valores das distâncias (bi, Bi, hi), e volume da duna 1 ao longo do processo erosivo.

Horas	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	bi	Bi	hi	Volume (m ³ /m)	Volume total (m ³)	Duna erodida (%)
14h00	0	0	0.76	1.88	0.55	0.73	2.83	0
14h30	30	30	0.76	1.88	0.55	0.75	2.83	0
14h40	40	10	0.76	1.88	0.55	0.75	2.83	0
14h45	45	5	0.87	1.59	0.53	0.66	2.57	9.19
14h50	50	6	0.67	1.41	0.53	0.55	2.16	23.67
15h00	60	10	0.58	1.19	0.52	0.46	1.81	36.04
15h03	63	3	0.39	1.03	0.54	0.39	1.51	46.64

Analisando a tabela anterior observa-se que a duna 1 passou de um volume total de 2.83 m³ para 1.51 m³, ou seja, sofreu uma erosão de 1.32 m³. O recuo horizontal foi de 0.85 m e o vertical foi de 0.01 m. as ondas começaram a incidir na duna às 14h00.

Pode-se concluir que a erosão se deu pelo impacto das ondas na base da duna, uma vez que a altura da duna não sofreu alterações. Ao incidirem na duna as ondas provocam erosão na base, consequentemente a duna deixa de ter um declive de equilíbrio fazendo com que a base da duna recue até esse equilíbrio ser novamente atingido. Por este motivo se foi observando no campo que as estacas que se encontravam sobre a duna foram ficando mais a descoberto chegando depois a marcar a base da duna.

A taxa de erosão foi calculado pela seguinte expressão,

$$T_E = \frac{1.32}{3900} = 3.37 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad (41)$$

Do mesmo modo se procedeu para os cálculos do volume da duna 2.

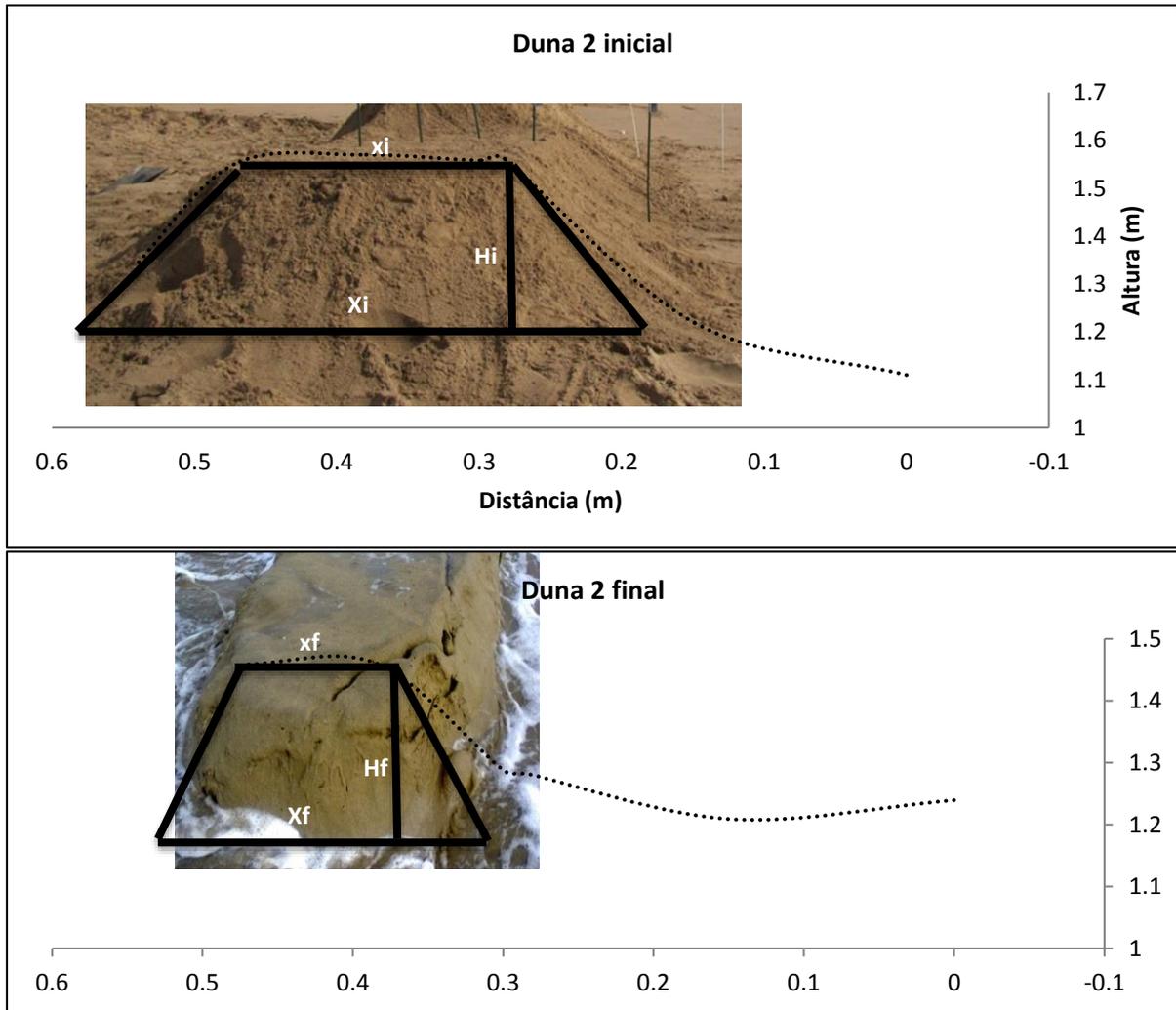


Figura II. 28 – Duna 2na fase inicial e final. A forma trapezoidal foi desenhada por cima para facilitar o cálculo da área e do volume da duna.

Após a projecção das diferentes posições da duna 2 foi possível calcular as áreas e os volumes. Os valores podem ser observados na Tabela II. 10.

Tabela II. 10 – Valores das distâncias (x_f , X_f , H_f) e volume da duna 2 ao longo do processo erosivo.

Horas	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	x_f	X_f	H_f	Volume (m^3/m)	Volume total (m^3)
14h00	0	0	0.72	1.45	0.35	0.38	0.46
14h30	30	30	0.72	1.45	0.34	0.41	0.44
14h40	40	10	0.72	1.25	0.34	0.37	0.40
14h45	45	5	0.47	1.01	0.30	0.22	0.27
14h50	50	6	0.25	0.76	0.23	0.12	0.14

Analisando a tabela anterior observa-se que a duna 2 passou de um volume total de 0.46 m^3 para 0.14 m^3 , ou seja, sofreu uma erosão de 0.32 m^3 . O recuo horizontal foi de 0.69 m e o vertical foi de 0.12 m . As ondas começaram a incidir na base da duna às 14h00 tendo erodido toda a duna em cinquenta minutos (equivalente a 3000 segundos).

Contrariamente ao que se verificou na duna 1, a erosão na duna 2 deu-se não só pelo impacto das ondas na base da duna mas, posteriormente, também pelos galgamentos das ondas sobre a duna. Deste modo as ondas ao recuarem vão erodindo a parte superior da duna. Por este motivo se observa uma maior perda de altura nesta duna.

A taxa de erosão foi calculado do seguinte modo,

$$T_E = \frac{0.32}{3000} = 1.05 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad (42)$$

A Figura II. 29 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** mostra a evolução do volume das duas dunas ao longo do tempo.

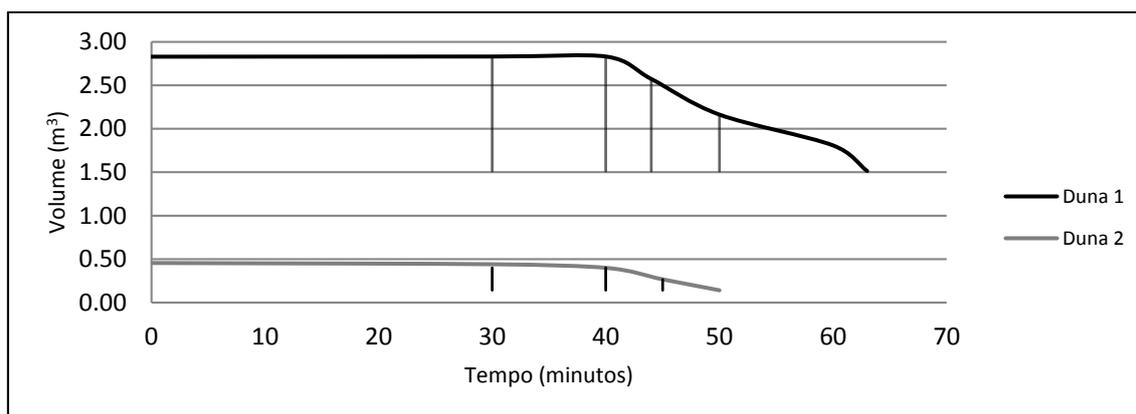


Figura II. 29 – Evolução do volume da duna 1 e 2 ao longo do tempo.

Observando atentamente a figura acima verifica-se que a redução do volume dunar se deu a partir dos 40 minutos após o início dos impactos (14h00). Em cinco minutos (das 14h40 às 14h45) o volume dunar, no caso da duna 1, passou de 2.83 para 2.57 m^3 e de 0.45 para 0.27 m^3 no caso da duna 2. Isto deve-se ao facto de a maré estar a subir, permitindo que as ondas cheguem mais longe na face de praia.

9. Aplicação e validação do modelo de Larson *et al.*

Nesta secção pretende-se aplicar e validar o modelo de Larson *et al.* (2004) com os resultados obtidos no campo. A aplicação será feita apenas para a duna 1 por ser a duna melhor caracterizada.

9.1. Hidrodinâmica

O primeiro cálculo efectuado foi o da velocidade do espraio na base da duna (u_0) através da expressão (15). Neste cálculo substituiu-se o parâmetro z_0 , que corresponde à distância vertical entre o início do espraio e a base da duna, por z , que representa a distância, na vertical, entre o limite do espraio, em cada instante, e a base da duna:

$$u_0^2 = u_s^2 - 2gz$$

Os valores de u_s de entrada correspondem aos observados no campo e que são apresentados na secção 4.3. (Espraio).

Na tabela seguinte apresentam-se novamente os valores da velocidade inicial do espraio da Tabela II. 11 juntamente com os valores de u_s^2 , e os valores de u_0 , determinados pela expressão. A primeira linha da tabela corresponde ao momento em que a onda rebentou, conseqüentemente para se calcular o valor de z usou-se como valor de referência a cota do início do espraio (Tabela II. 2).

Aplicando no final a fórmula, mantendo constante para cada onda, o valor de u_s^2 , obtém-se o valor de u_0^2 . Na aplicação da fórmula observou-se que alguns dos valores de u_0^2 davam negativos. Para corrigir estes valores foi necessário calibrar a fórmula, uma vez que esta subestima a velocidade. Para os resultados obtidos para as 4 ondas escolhidas deduziu-se um factor de calibração entre 1.58 e 1.90. Uma vez que se pretende comparar velocidades em metro por segundo, determinou-se o valor de u_0 . Os gráficos que permitem observar esta comparação encontram-se abaixo da tabela.

Capítulo II – Aplicação e validação em condições de baixa energia

Tabela II. 11 – Valor da diferença de cotas entre o alcance do espraio e o início do espraio (z) das velocidades medidas (u_s) e calculadas (u_o) para as 4 ondas registadas.

Filme	u_s (m/s)	u_s^2 (m ² /s ²)	z (m)	u_o^2 (m ² /s ²)	u_o (m/s)
1094	0.00	0.00			
	2.19	4.80	0	4.80	2.19
	0.86	0.73	0.05	4.25	2.06
	2.03	4.13	0.13	3.35	1.82
	1.92	3.70	0.22	2.23	1.51
	1.18	1.38	0.27	1.67	1.31
	1.18	1.38	0.34	0.89	0.96
	0.86	0.73	0.36	0.67	0.83
	0.43	0.18	0.42	0.00	0.01
1098	0	0			
	2.14	4.57	0	4.57	2.14
	1.60	2.57	0.07	3.75	1.94
	1.28	1.65	0.12	3.17	1.78
	1.60	2.57	0.19	2.35	1.53
	1.50	2.24	0.25	1.64	1.28
	1.75	3.07	0.39	0.00	0.01
1099	0	0			
	1.82	3.30	0	3.30	1.82
	1.39	1.93	0.06	2.68	1.64
	1.28	1.65	0.1	2.27	1.51
	1.07	1.14	0.15	1.76	1.32
	1.07	1.14	0.21	1.14	1.07
	1.07	1.14	0.28	0.41	0.64
	0.53	0.29	0.32	0.00	0.00
1101	0	0			
	2.14	4.57	0	4.57	2.14
	1.60	2.57	0.07	3.71	1.93
	1.07	1.14	0.11	3.21	1.79
	0.53	0.29	0.13	2.97	1.72
	1.60	2.57	0.2	2.10	1.45
	1.07	1.14	0.26	1.36	1.17
	0.53	0.29	0.29	0.99	0.99
	0.53	0.29	0.32	0.62	0.79
	0.32	0.10	0.34	0.37	0.61
	0.11	0.01	0.35	0.25	0.50
	0.11	0.01	0.37	0.00	0.01

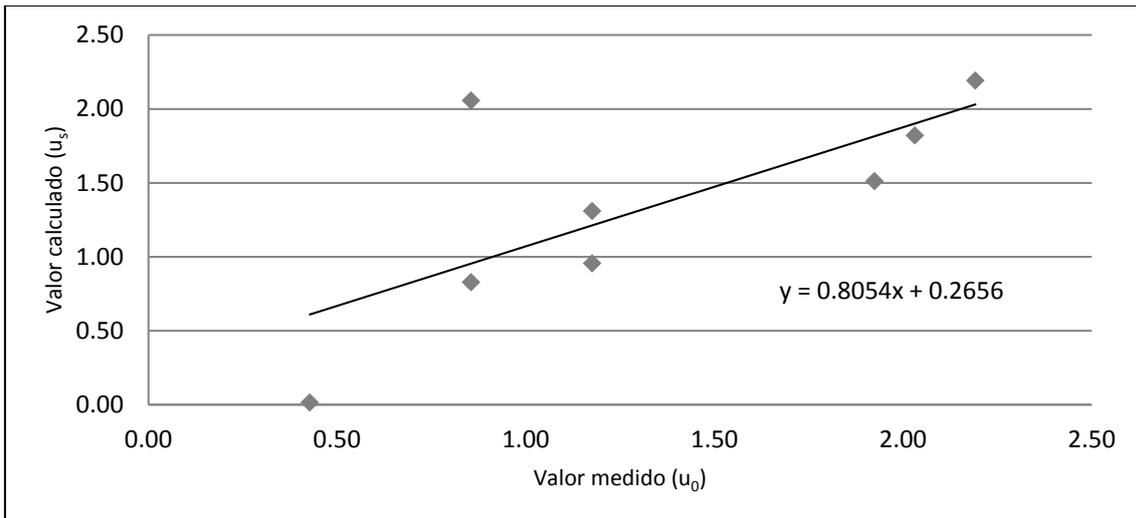


Figura II. 30 – Projecção dos valores das velocidades medidas e calculadas para a onda 1.

Neste caso a expressão que melhor se ajusta é

$$u_0^2 = u_s^2 - 2gz/1.72 \quad (43)$$

Sendo 1.72 o valor do coeficiente de calibração.

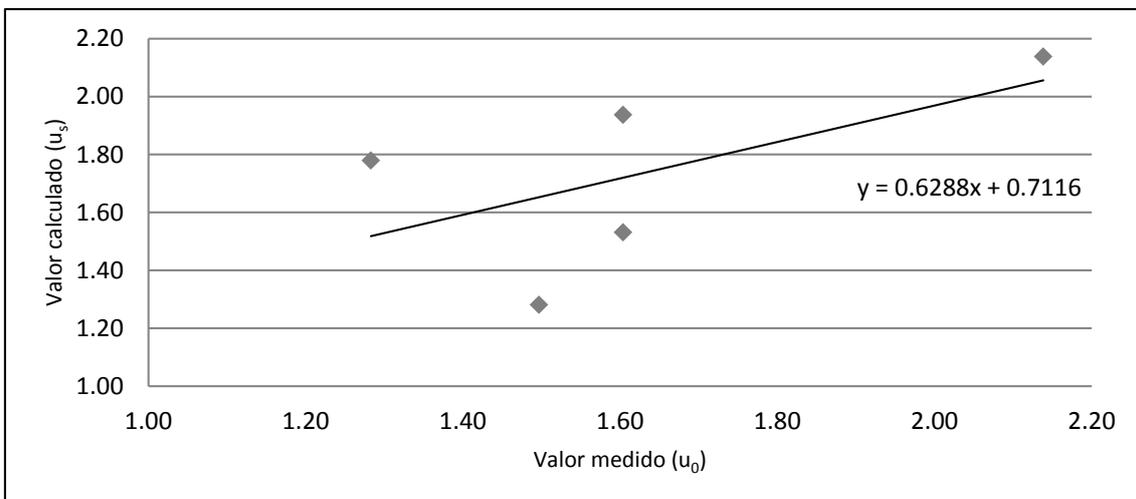


Figura II. 31 – Projecção dos valores das velocidades medidas e calculadas para a onda 2.

Neste caso a expressão correcta será

$$u_0^2 = u_s^2 - 2gz/1.67 \quad (44)$$

Sendo 1.67 o valor de calibração.

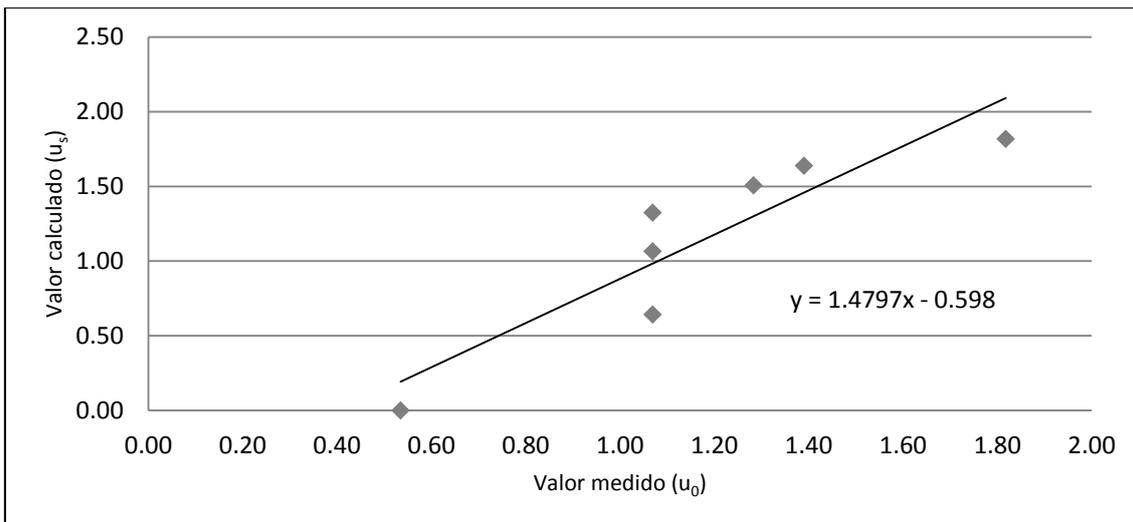


Figura II. 32 – Projecção dos valores das velocidades medidas e calculadas para a onda 3.

Neste caso a expressão correcta será

$$u_0^2 = u_s^2 - 2gz/1.9 \quad (45)$$

Sendo 1.9 o valor de calibração.

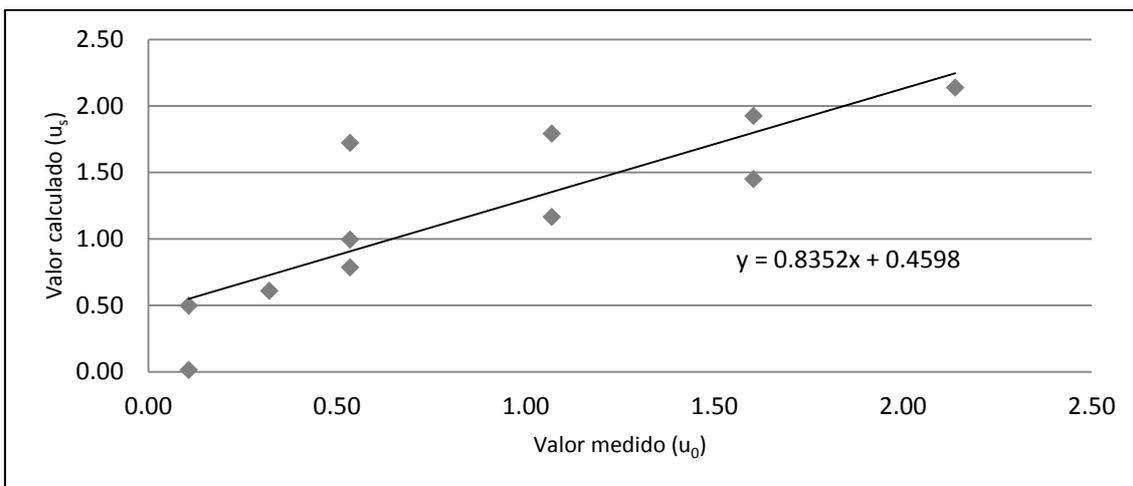


Figura II. 33 – Projecção dos valores das velocidades medidas e calculadas para a onda 4

Neste caso a expressão correcta será

$$u_0^2 = u_s^2 - 2gz/1.59 \quad (46)$$

Sendo 1.59 o valor de calibração.

9.2. Erosão dunar

Neste caso serão utilizadas as expressões contidas na segunda situação descrita no capítulo de apresentação do modelo de Larson *et al.* (2004).

Para a determinação do valor de R_{up} utilizou-se a diferença de cota entre o nível médio do mar e o máximo espraio ($C_{esp} = 1.21$) às 14h00, altura em que este atinge a base da duna.

$$R_{up} = C_{esp} - NMM \quad (47)$$

O NMM, determinado pelo marégrafo de Cascais, foi de 0.66 metros. Substituindo os valores na expressão obtém-se

$$R_{up} = 1.21 - 0.66 = 0.55 \text{ m} \quad (48)$$

O efeito da variação do nível mar pode ser expresso em função de z através da expressão descrita no capítulo da apresentação do modelo de Larson *et al.* (2004):

$$z = z_i - at$$

Em que z_i corresponde à distância vertical inicial entre a base da duna e o início do espraio, a é o coeficiente que descreve a subida do nível do mar e t o tempo. O sinal negativo indica a redução da distância vertical, ou seja, a subida do nível do mar. A variação do volume é dada pela expressão (25):

$$\Delta V_E = 4 * \left(\frac{C_s}{T}\right) * \left((R_{up} - z_i)^2 * t + a * (R_{up} - z_i) * t^2 + \frac{1}{3} * a^2 * t^3 \right)$$

Onde para esta aplicação: $C_s = 1.34 \times 10^{-4}$; $T = 11$ s; $R_{up} = 0.55$ m (constantes ao longo do tempo); z_i vai variar ao longo do tempo, pois o nível do mar também varia em cada momento; t e a vão também variar pois t corresponde ao intervalo de tempo e a à taxa de subida do nível do mar em cada momento. Para se obter o valor de z foi necessário retirar, do marégrafo de Cascais, os registos da Maré Observada (MO) em cada momento (Tabela II. 12).

Capítulo II – Aplicação e validação em condições de baixa energia

Tabela II. 12 – Registo dos valores da MO para o dia 27 de Outubro de 2014, retirados do marégrafo de Cascais (ftp://ftp.igeo.pt/Cascais).

Marégrafo de Cascais	Data	Hora	MO (mm)
"MAR_CAS"	27-10-14	14:00:00	656
"MAR_CAS"	27-10-14	14:30:00	883
"MAR_CAS"	27-10-14	14:45:00	967
"MAR_CAS"	27-10-14	15:00:00	1166

A equação (25) foi aplicada aos diferentes intervalos de tempo. Iniciou-se às 14h00 pois neste momento as ondas começaram a atingir a base da duna. Na Figura II. 34 encontra-se a representação esquemática da variação do nível do mar das 14h00 às 15h00. Na Tabela II. 13 observam-se os diferentes valores de volume (m^3/m).

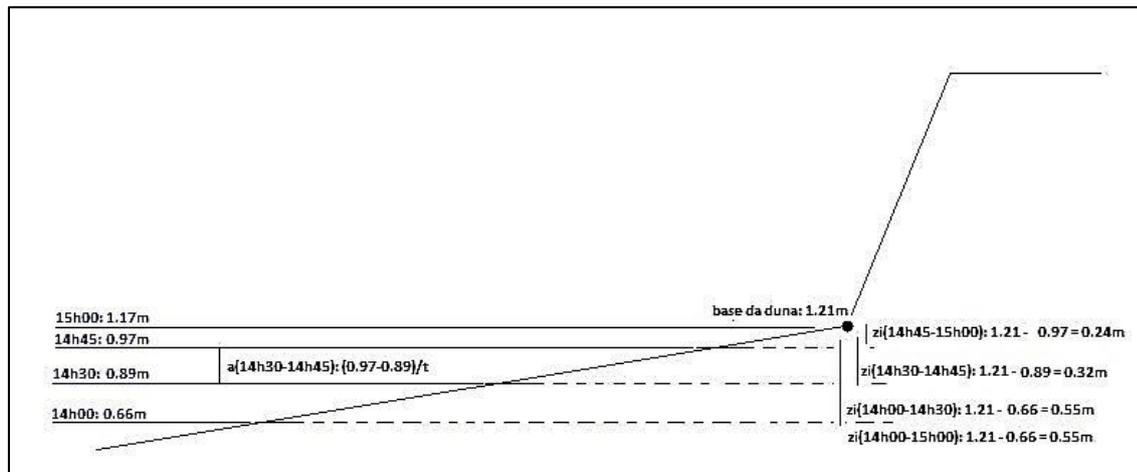


Figura II. 34 – Representação esquemática da subida do nível do mar para o dia 27 de Outubro de 2014 das 14h00 às 15h00.

Tabela II. 13 – Variação do volume ao longo do tempo durante o processo de erosão das dunas devido ao impacto dos espreais na base da duna.

dt (min)	Cs	T (s)	R _{up} (m)	z _i (m)	t (s)	a (m/s)	ΔVE (m ³ /m)
0	1.34E-03	11	0.55	0.55	0	0	0.00
30				0.55	1800	1.28E-04	0.016
15				0.32	900	0.89E-04	0.032
15				0.24	900	2.22E-04	0.075
60				0.55	3600	1.42E-04	0.153

Somando os valores calculados para os diferentes intervalos de tempo obtém-se 0.13 m³/m, valor este que não difere muito do calculado para todo o tempo em que se deu a erosão dunar.

Na Tabela II. 14 comparam-se os valores acima calculados com os determinados com base nos dados obtidos experimentalmente.

Tabela II. 14 – Comparação dos valores da variação do volume (m³/m) entre os valores determinados de acordo com Larson *et al* (2004) e os determinados a partir dos dados de campo.

Tempo	dt	ΔVE (m ³ /m)	
		Larson <i>et al</i> (2004)	Campo
14h00-14h30	30	0.016	0.0
14h30-14h45	15	0.032	0.09
14h45-15h00	15	0.075	0.20
14h00-15h00	60	0.153	0.27

Analisando a tabela verifica-se que os valores determinados de acordo com Larson *et al* (2004) são inferiores aos experimentais. Na generalidade dos casos o modelo tende a subestimar os valores observados em cerca de 50%.

Estas diferenças estarão associadas à incapacidade do modelo em reproduzir de forma adequada os processos físicos associados à erosão dunar e também à existência da variabilidade natural presente nos dados de campo que, segundo Van Thiel de Vries (2009) se pode dever a: 1) a elevada variabilidade temporal e espacial da altura e velocidade do espraio; 2) a geometria da frente de erosão da duna apresenta uma forma irregular.

Capítulo III – Aplicação e validação dos modelos em condições de tempestade

1. Temporal Christina¹

Desde meados do mês de Dezembro de 2013 as depressões originadas na parte leste dos EUA sofreram processos de cavamento rápido – ciclogénese explosiva – na sua passagem pelo Atlântico Norte. Este processo deveu-se, essencialmente, ao forte contraste entre a massa de ar muito frio sobre a parte leste dos EUA e a massa de ar quente e húmida do Atlântico.

A depressão centrada na costa leste dos EUA no dia 3 às 00:00 UTC (Universal Time Coordinate), com cerca de 1000 hPa, atravessou o Atlântico durante os dias 4 a 6, e sofreu um processo de ciclogénese explosiva registando um valor mínimo de pressão de 936 hPa às 00:00 UTC do dia 5 de Janeiro (Figura III. 1a). Às 00:00 UTC do dia 7 de Janeiro localizava-se a noroeste da Escócia, com cerca de 965 hPa, tendo sido designada por tempestade Christina pela universidade de Berlim.

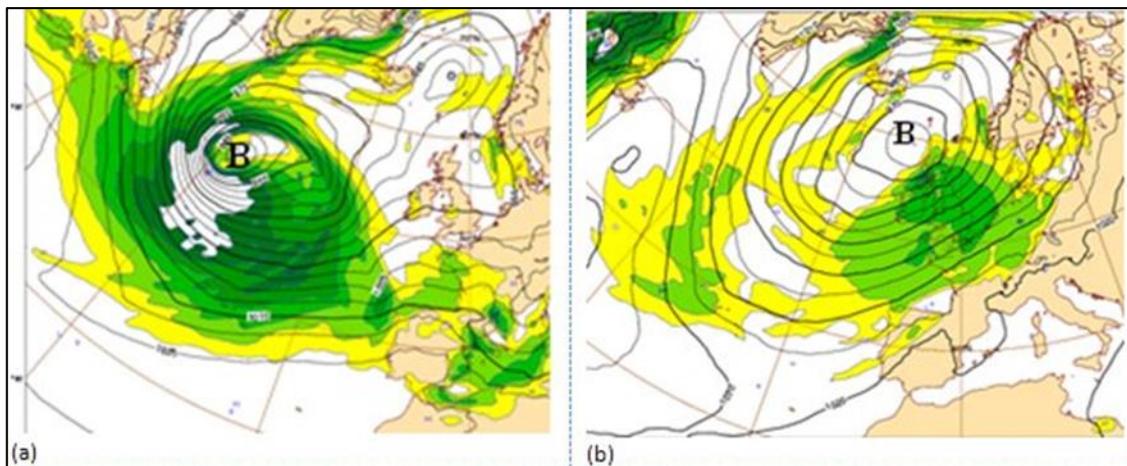


Figura III. 1 – Análise do Modelo de previsão do tempo, ECMWF, da Pressão ao nível médio do mar (hPa, linhas a preto) e vento aos 850 hPa (cor): (a) 2014.Jan.05 00:00 UTC, (b) 2014.Jan.07 00:00 UTC (IPMA).

Esta depressão originou alturas de onda muito elevadas no Atlântico Norte, com valores de altura significativa que ultrapassaram 14 metros a noroeste dos Açores no dia 5, propagando-se para leste vindo a originar, no dia 6, ondas de altura significativa de cerca de 9 metros na costa ocidental do Continente (Figura III. 2).

¹ De acordo com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

Nesse sentido, na sequência do acompanhamento, vigilância e previsão das condições do estado do mar e de acordo com os critérios para emissão de avisos meteorológicos de agitação marítima, o IPMA emitiu no dia 5 de Janeiro um aviso vermelho – correspondente a ondas com alturas significativas (H_s) superiores a 7 m – que esteve vigente entre às 09:00 UTC de dia 6 e às 00:00 UTC de dia 7 (posteriormente alargado até às 06:00 UTC) para toda a costa oeste de Portugal Continental.

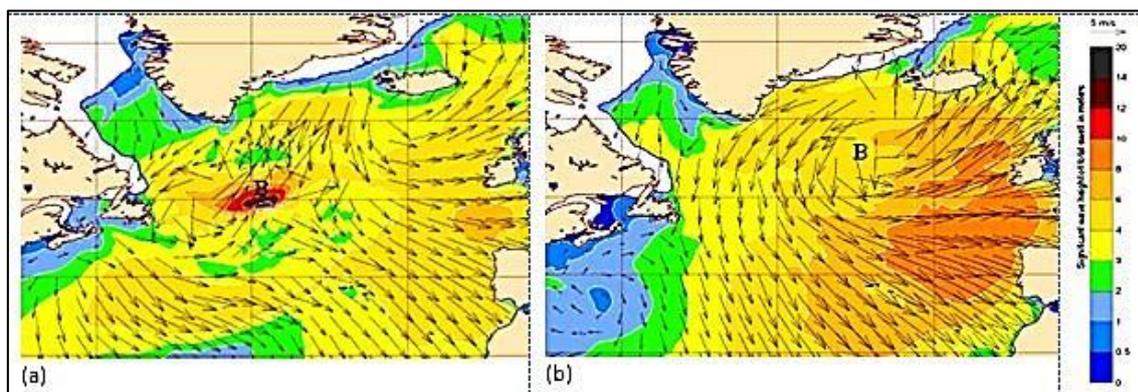


Figura III. 2 – Análise do Modelo global de agitação marítima WAM, ECMWF, (a) 2014.Jan.05 00:00 UTC, (b) 2014.Jan.06 12:00 UTC (fonte: IPMA).

A energia das ondas associada à sua rebentação é determinada pelos valores da altura e do período das ondas, bem como pela direcção da agitação face à orientação da linha de costa. Assim, no caso da costa ocidental portuguesa, para as ondas de WNW que se verificaram, a dissipação de energia por refacção (i.e., por efeito de aproximação à costa) foi minimizada e consequentemente conduziu a maior grau de destruição nas zonas costeiras. Adicionalmente, a preia-mar de, aproximadamente, 3.15 m (ZH) terá ocorrido perto das 18:30 UTC (18:28 UTC para Cascais), coincidindo com os relatos de inundações e destruição de estruturas balneares em diferentes zonas da costa Portuguesa, uma vez que a maré cheia potencia que a rebentação ocorra mais próxima da linha de costa.

Na Tabela III. 1 encontram-se os parâmetros de agitação registados na bóia de Leixões relativos à tempestade Christina, e disponibilizados no website www.hidrografico.pt. Nestes registos foi medida a altura significativa média e máxima (H_s) (m), a altura máxima (H_{max}) (m), o período máximo médio (T_{zmax}) (s), o período máximo (T_{max}) (s), e a direcção (por octantes) das ondas.

Capítulo III – Aplicação e validação dos modelos em condições de tempestade

Tabela III. 1 – Síntese dos parâmetros de agitação ao largo registados na bóia de Leixões durante o evento de temporal de 3 a 7 de Janeiro de 2014 – Christina.

Data e hora de início	Data e hora de fim	Duração (dd:hh:mm)	H_{smed} (m)	H_{smax} (m)	H_{max} (m)	T_{zmax} (s)	T_{max} (s)	Direcção média (°)
3.Jan.2014 14h30	7.Jan.2014 11h50	3:21:20	5.83	9.00	13.54	18.62	27.30	295

Na Figura III. 3 pode observar-se a projecção dos valores das alturas significativa e máxima registadas na bóia de Leixões relativas à tempestade Christina. Para os cálculos que se seguem usar-se-á os valores das horas e alturas de maré correspondentes ao dia 7 de Janeiro, por ser este o que apresenta valores maiores de altura de ondas.

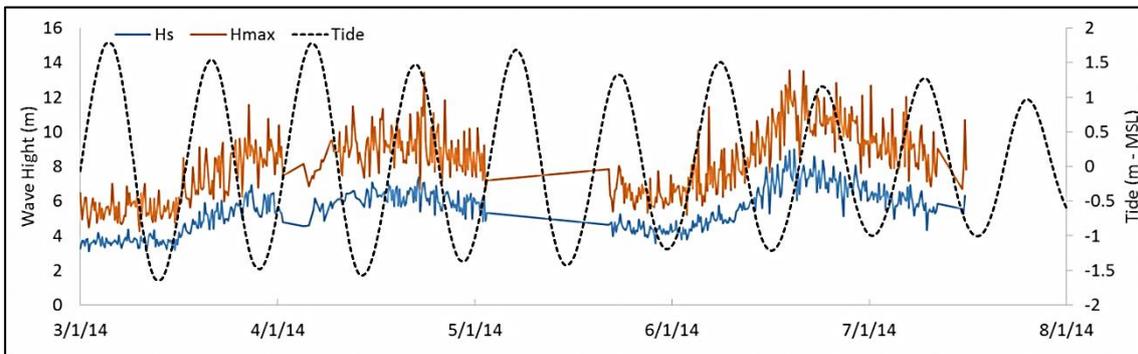


Figura III. 3 – Projecção dos valores de altura significativa (H_s) e de altura máxima (H_{max}) ao largo registados na boia onógrafa de Leixões com os dados de previsão da maré em Leixões, para os dias 3 e 8 de Janeiro (Antunes, 2014).

2. Temporal Stephanie²

Durante a tarde do dia 8 de Fevereiro de 2014 e o dia 9, uma depressão no Atlântico Norte localizada entre a costa leste do Estados Unidos da América e os Açores, sofreu no seu deslocamento para leste, um processo de ciclogénese explosiva, registando-se uma descida da pressão de 29 hPa entre as 12UTC (12 horas locais) do dia 08 e as 12UTC do dia 09.

Às 18 UTC, do dia 09 de Fevereiro, a depressão, designada por Stephanie pela universidade de Berlim, centrava-se na Corunha com um mínimo de pressão de 981 hPa, deslocando-se para ENE, vindo a localizar-se às 06UTC do dia 10, no sul de França.

A aproximação desta depressão à costa ocidental portuguesa originou precipitação, por vezes forte em especial nas regiões do litoral oeste, e vento forte de sudoeste ou de oeste com rajadas, que durante a tarde e a noite do dia 9, ultrapassaram 100km/h em alguns locais, tendo-se registado 134,3 km/h no cabo da Roca às 20:20UTC. A Tabela III. 2 mostra os valores mais elevados da rajada registados na rede de estações meteorológicas do IPMA.

Tabela III. 2 – Valores mais elevados das rajadas registados na rede de estações meteorológicas do IPMA (fonte: IPMA).

Estação Meteorológica	Rajada máxima (km/h)	Data e hora de ocorrência
Porto/S. Pilar	103	9.Fev. – 23:30:00
Coimbra	90	9.Fv. – 22h40:00
Castelo Branco	93	10.Fev. – 00:40
Leiria	92	9.Fev. – 22:40
Pampilhosa da Serra	105	9.Fev. – 15:20
Cabo da Roca	134	9.Fev. – 23:50
Lisboa/Gago Coutinho	108	9.Fev. – 18:00
Évora	107	9.Fev. – 23:50
Sines	108	9.Fev. – 19:50
Fóia	107	9.Fev. – 23:50

² De acordo com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

A partir da noite do dia 9, com o deslocamento da depressão para o Golfo da Biscaia, verificou-se uma rotação do vento para noroeste, mantendo-se forte e com rajadas da ordem de 80 a 90 km/h, durante a madrugada do dia 10.

O vento intenso associado à depressão originou agitação marítima forte no Atlântico, tendo sido registado nas bóias ondógrafo do Instituto Hidrográfico (IH) ondas com altura significativa, H_s , até 8 m e com altura máxima, H_{max} , de 12.5 m em Leixões e 17 m em Sines associadas a um período de médio de 10 s.

As ondas de altura máxima com 17 metros, observadas em Sines, podem ser designadas como “freak (ou rogue) wave”, uma vez que a sua altura foi maior que o dobro da altura significativa ($H_s \sim 8$ m), o que se pode considerar como um evento extremo, dado que a probabilidade de ocorrer é inferior a 1%.

Apesar das inúmeras similaridades entre esta ondulação e aquela que ocorreu no passado dia 6 de Janeiro (associada à passagem da tempestade Christina), nomeadamente nos valores de H_s e da direcção de propagação, as diferenças nos valores dos períodos de ondas determinam diferenças na energia e no comprimento de onda.

Contrariamente à agitação originada pela tempestade Christina, a agitação gerada pela tempestade Stephanie apresentou um período médio de 10 s., explicado pelo facto da sua geração ter ocorrido substancialmente mais perto da costa Oeste Portuguesa e durante menos tempo, quando comparadas com as ondas geradas pela tempestade Christina ao longo do seu trajecto ao longo de uma enorme faixa no Atlântico Norte.

Na Tabela III. 3 encontram-se os parâmetros de agitação registados na bóia de Leixões relativos à tempestade Stephanie e disponibilizados no website www.hidrografico.pt. Nestes registos foi medida a altura significativa média e máxima (H_s) (m), a altura máxima (H_{max}) (m), o período máximo (T_{max}) (s), e a direcção (por octantes) das ondas.

Tabela III. 3 – Síntese dos parâmetros de agitação ao largo registados na bóia de Sines durante o evento de temporal de 8 a 10 de Fevereiro de 2014 – Stephanie.

Data e hora de início	Data e hora de fim	Duração (dd:hh:mm)	H_{smed} (m)	H_{smax} (m)	T_{zmax} (s)	Direcção média (°)
8.Fev.2014 19h30	10.Fev.2014 17h00	1:11:30	5.6	8.5	9.7	302.6

Na Figura III. 4 pode observar-se a projecção dos valores das alturas significativa e máxima registadas na bóia de Sines relativas à tempestade Stephanie. Para os cálculos que se seguem usar-se-á as horas e alturas de maré correspondentes ao dia 9 de Fevereiro, por ser este o que apresenta alturas de onda superiores.

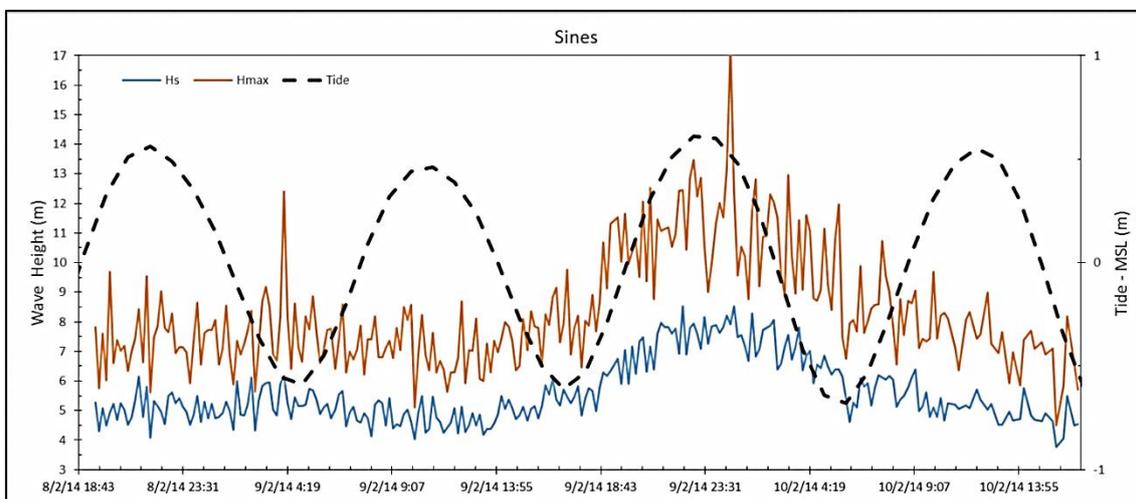


Figura III. 4 – Projecção dos valores de altura significativa (H_s) e de altura máxima (H_{max}) ao largo registados na bóia ondógrafo de Sines com os dados de previsão da maré em Leixões (Antunes, 2014), para os dias 2 e 10 de Fevereiro.

3. Aplicação e validação dos modelos

Tal como no caso anterior, para a aplicação dos modelos em condições de tempestade foi necessário escolher uma praia que apresentasse as condições requeridas. Escolheu-se a praia da Foz do Lizandro, devido à existência de uma escarpa de erosão provocada pelas ondas de tempestade (Figura III. 5); e ao facto de ter sido estudada previamente, o que permite projectar o recuo da duna ao longo do tempo.



Figura III. 5 – Escarpa de erosão da praia da Foz do Lizandro.

Neste subcapítulo descreve-se a aplicação dos modelos analíticos de Edelman (1972), Kriebel & Dean (1993) e Larson *et al.* (2004) aos dados das tempestades que atingiram a costa portuguesa em Janeiro e Fevereiro de 2014, como a tempestade Christina e Stephanie.

4. Enquadramentos

4.1. Enquadramento geográfico e características gerais

A praia da Foz do Lizandro situa-se em Portugal Continental (Figura III. 6A), a norte da margem norte do Tejo, na freguesia de Carvoeira a cerca de 2km a sul da Ericeira, no concelho de Mafra (Figura III. 6B). Apresenta um extenso areal e tem o nome do rio que passa junto da praia em direcção ao mar.

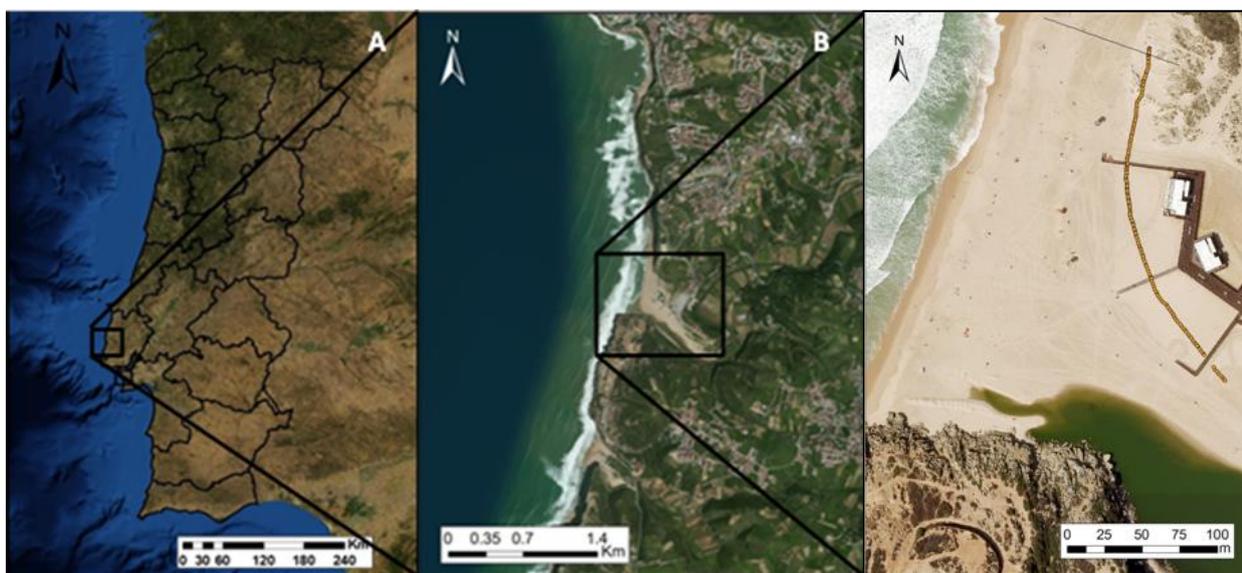


Figura III. 6 – Localização da praia da Foz do Lizandro: A – Localização de Portugal Continental; B – Localização no concelho de Mafra; C – Pormenor da praia com a projecção dos perfis realizados no campo.

4.2. Enquadramento geológico

A praia da Foz do Lizandro localiza-se na Orla Meso-cenozóica Ocidental. Insere-se na folha 30-C Torres Vedras da Carta Geológica de Portugal, na escala 1: 50.000, editada em 1995 pelos Serviços Geológicos de Portugal.

Em análise da carta acima referida é possível denotar que a praia da Foz do Lizandro assenta sobre camadas do Cretácico, Cenomaniano (C^2_{cde}) (com exclusão de camadas com Neolobites).

4.3. Enquadramento geomorfológico

Nos meses de inverno, a praia da Foz do Lizandro apresenta uma escarpa de erosão que diminui de norte para sul. Esta diminuição pode dever-se à acção das ondas e também à proximidade da foz do rio Lizandro, que vai escavando o seu leito, conduzindo à perda de sedimento.

A morfologia da praia, em cada momento, depende da agitação marítima, que influencia o modo como as ondas rebentam e a energia que transportam, e com a dimensão dos sedimentos. Em traços gerais, o perfil de uma praia pode ser classificado, segundo Wright & Short (1984), em seis tipos ou estádios morfodinâmicos principais: perfil dissipativo, perfil de barra longitudinal-cava, perfil de barras em crescente, perfil de barras transversais, perfil de lomba-canal ou terraço de baixa-mar. Os perfis dissipativo e reflectivo representam os extremos da classificação, sendo os restantes quatro, estádios intermédios. A praia da Foz do Lizandro situa-se entre os estádios reflectivo e o de perfil de terraço de baixa-mar.

5. Aplicação de modelos empíricos de erosão dunar

5.1. Medições no campo

O facto da praia da Foz do Lizandro ter sido estudada nos meses de inverno permite fazer uma evolução da erosão sofrida durante os eventos de tempestade, e aplicar os modelos de erosão verificando qual o que melhor se ajusta.

Na Figura III. 7 representam-se as delimitações da base e crista da duna realizadas de acordo com análises de fotogrametria terrestre correspondentes a 7 de Janeiro de 2014, 13 de Fevereiro de 2014, 6 de Março de 2014 e 4 de Abril de 2014 (Carapuço *et al.*, 2014).

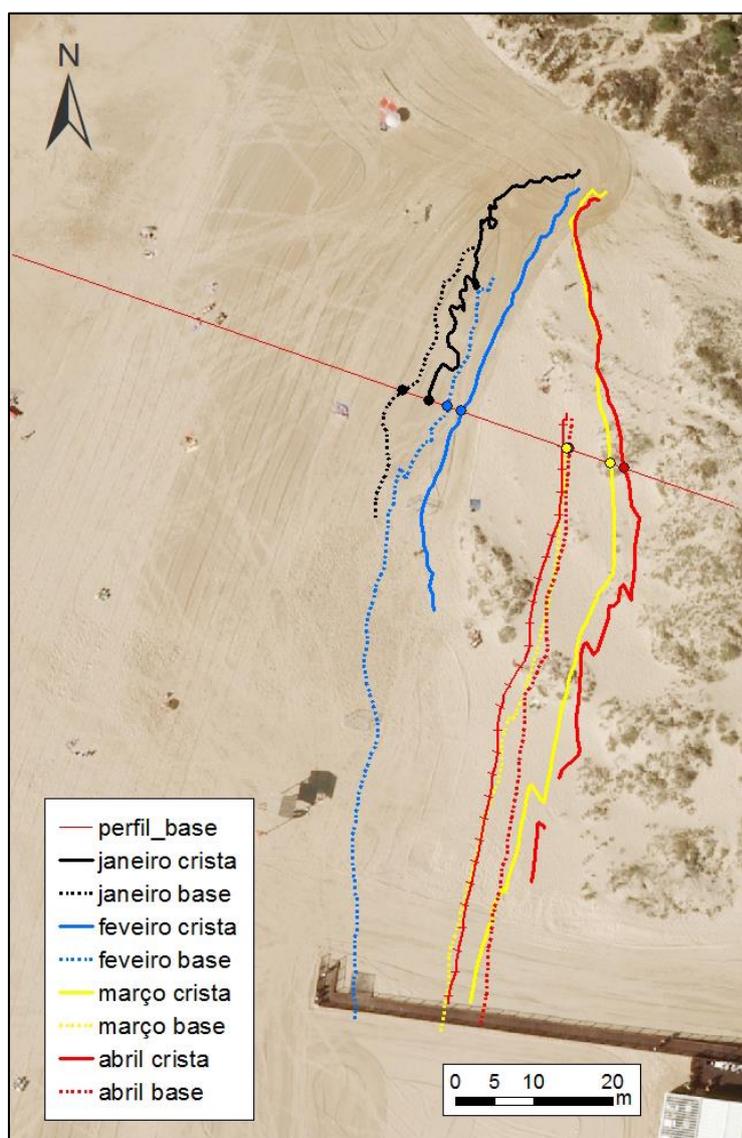


Figura III. 7 – Pontos de intersecção do perfil base com as delimitações da base e crista da duna da praia da Foz do Lizandro (fonte: Carapuço *et al.*, 2014).

Na Tabela III. 4 encontram-se os recuos medidos entre cada levantamento.

Tabela III. 4 – Registo dos recuos observados através das análises de fotogrametria terrestre.

Recuo (m)							
Janeiro-Feveiro		Fevereiro-Março		Março-Abril		Total (Janeiro-Abril)	
Base	Crista	Base	Crista	Base	Crista	Base	Crista
6.50	4.45	17.00	20.55	0.50	1.00	24.00	26.00

Observando a figura e a tabela verifica-se que a maior erosão sofrida se deu entre Fevereiro e Março. Este recuo pode dever-se às duas grandes tempestades descritas acima que atingiram a costa portuguesa.

No Anexo D encontra-se a explicação de como se efectuou a conversão dos pontos de intersecção entre o perfil realizado no campo e as cristas e cavas correspondentes a cada mês, para posterior projecção em Excel (Figura III. 8).

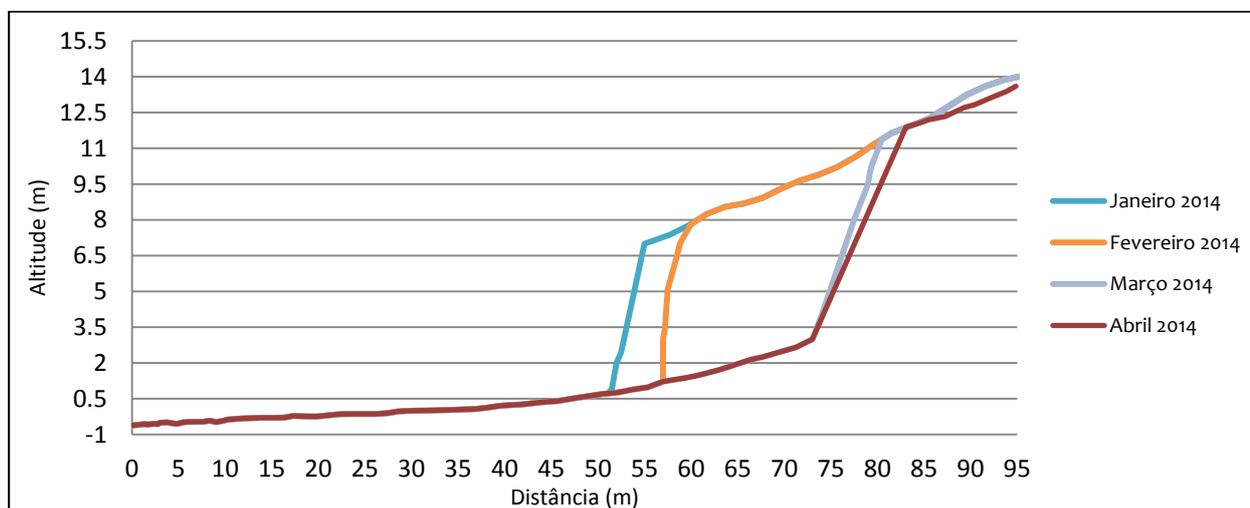


Figura III. 8 – Projecção gráfica das diferentes posições da duna da praia da Foz do Lizandro, realizada com base nos pontos de intersecção entre o perfil realizado no campo e as medições das cristas e bases da duna feitas através da análise de fotogrametria terrestre.

Para uma melhor visualização da cota da base e crista da duna recorreu-se à Figura III. 10, realizada com base em levantamentos no campo pela Mónica Ribeiro.

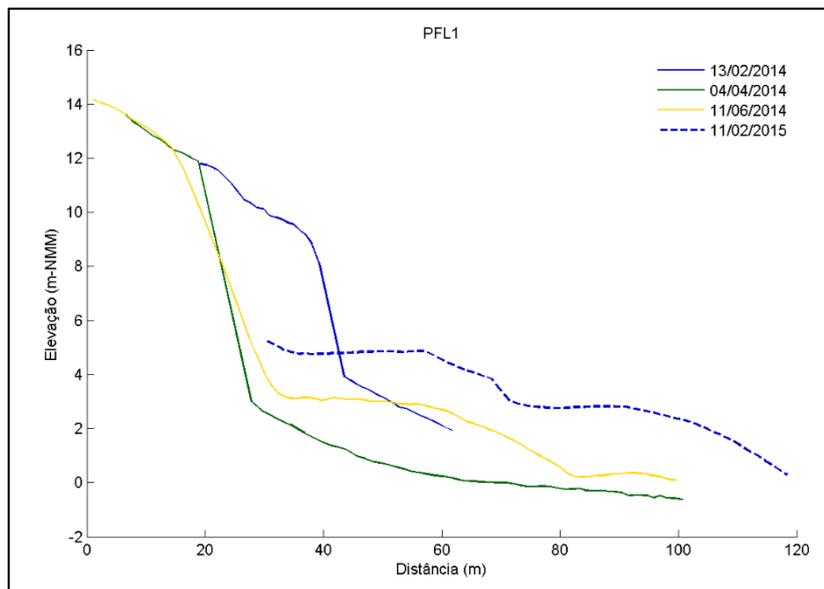


Figura III. 9 – Evolução do perfil de praia da Foz do Lizandro (dados cedidos Mónica Ribeiro).

Analisando a figura retira-se o valor de 4 metros para a base da duna e 9.5 metros para o topo da duna sendo a altura da duna de 5.5 metros.

5.2. Modelo de Edelman

Os cálculos efectuados são apresentados para as duas tempestades. Para o cálculo do recuo determinado através da aplicação do modelo de Edelman utilizou-se equação (9), que de novo se volta a apresentar

$$R = w_* * \ln \frac{B + h_*}{(B + h_*) - s}$$

Em que: R é o recuo calculado; W* é o comprimento do perfil activo; B é a altura da duna; h* é a profundidade de rebentação; s é a taxa da subida do nível do mar.

O comprimento activo do perfil corresponde à distância que vai desde a base da duna até à profundidade de fecho (d_c). Para a determinação da profundidade de fecho recorreu-se à expressão proposta por Hallermeier (1978),

$$d_c = 2.28H_s - 68.5 \frac{H_s^2}{gT^2} \quad (49)$$

Em que H_s e T correspondem, respectivamente, à altura significativa e período das ondas. Substituindo os valores para as duas tempestades obtém-se:

$$d_c = 2.28 \times 5.83 - 68.5 \frac{5.83^2}{9.81 \times 18.62^2} \approx 13 \text{ m para a tempestade Christina e}$$

$$d_c = 2.28 \times 5.6 - 68.5 \frac{5.6^2}{9.81 \times 9.7^2} \approx 10 \text{ m para a tempestade Stephanie}$$

Tendo os valores das respectivas profundidades de fecho utilizaram-se os dados do LiDAR batimétrico para se determinar a largura do perfil activo (w_*). Na Figura III. 10 está representada a praia da Foz do Lizando com a marcação das curvas de nível para a tempestade Christina (azul escuro) e as curvas de nível para a tempestade Stephanie (azul claro).

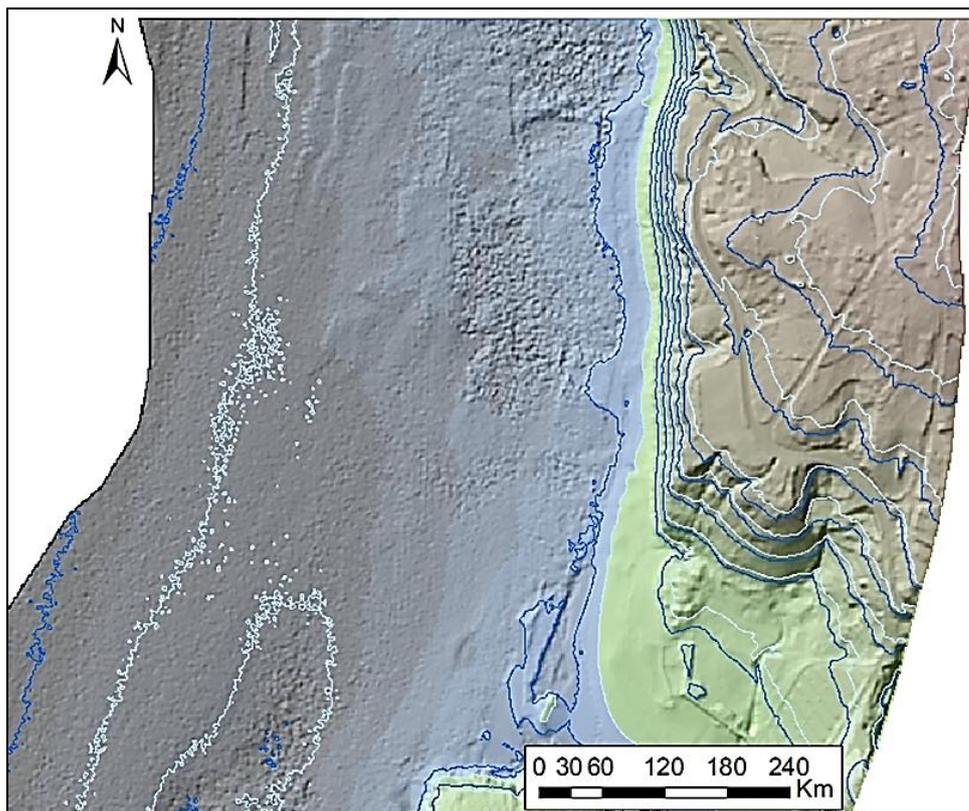


Figura III. 10 – Representação da praia da Fonte da Telha com a delimitação das curvas de nível. As curvas a azul escuro correspondem à tempestade Christina cuja profundidade de rebentação foi de 9 metros e as curvas a azul claro correspondem à tempestade Stephanie cuja profundidade de rebentação foi de 7 metros.

Para a primeira tempestade o valor de w^* foi de 550 metros e para a segunda de 430 metros.

Para a determinação da profundidade de rebentação foi necessário recorrer a uma matriz de transferência (Figura III. 11) que permite retirar o valor da altura da onda aos 10 metros (profundidade para a qual foi feita a matriz) na praia da Foz do Lizandro.

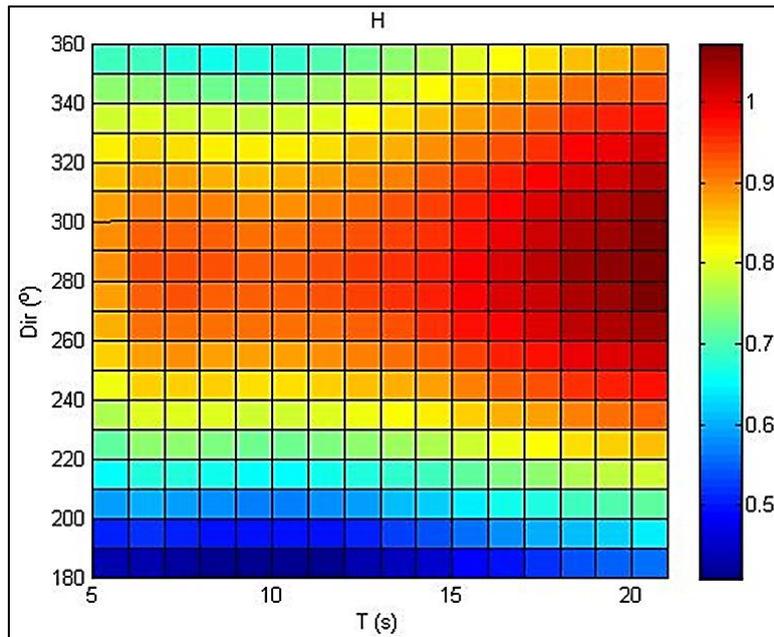


Figura III. 11 – Matriz de transferência que permite retirar o valor da altura da onda aos 10 metros de profundidade para a praia da Foz do Lizandro.

Projectando-se na matriz os valores de 18.62 segundos de período (T) e 295° de direcção das ondas, da tempestade Christina, obtém-se o valor de 1.2 (Figura III. 12, círculo branco). Relativamente à tempestade Stephanie o período foi de 9.7 segundos e a direcção de 302.6° . Da matriz retirou-se o valor de 0.92 (Figura III. 12, círculo preto). Multiplicando os valores retirados da matriz pelas alturas das ondas ao largo (5.83 e 5.6 metros) obtiveram-se os valores de 6.97 metros (aproximadamente 7 metros), e 5.15 metros, que correspondem às alturas das ondas aos 10 metros de profundidade, para a tempestade Christina e Stephanie, respectivamente. A profundidade de 10 metros foi considerada como a profundidade de rebentação.

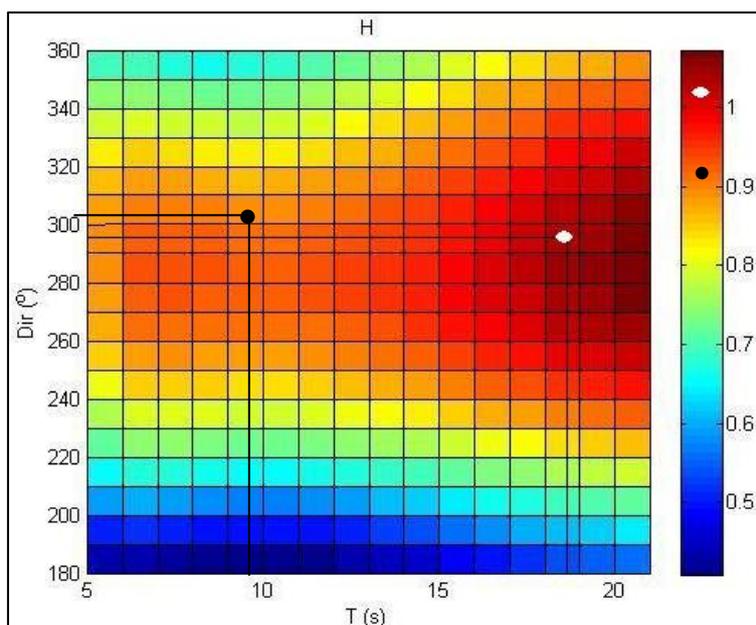


Figura III. 12 – Matriz de transferência para os 10 metros de profundidade com a projecção do período e direcção das ondas da tempestade Christina.

Através da análise da Figura III. 13, que representa o registo da maré em Cascais, e da sobrelevação meteorológica referente à tempestade Christina, é possível observar que, para o dia 7 de Janeiro o valor médio da SM está perto de 0.2 m.

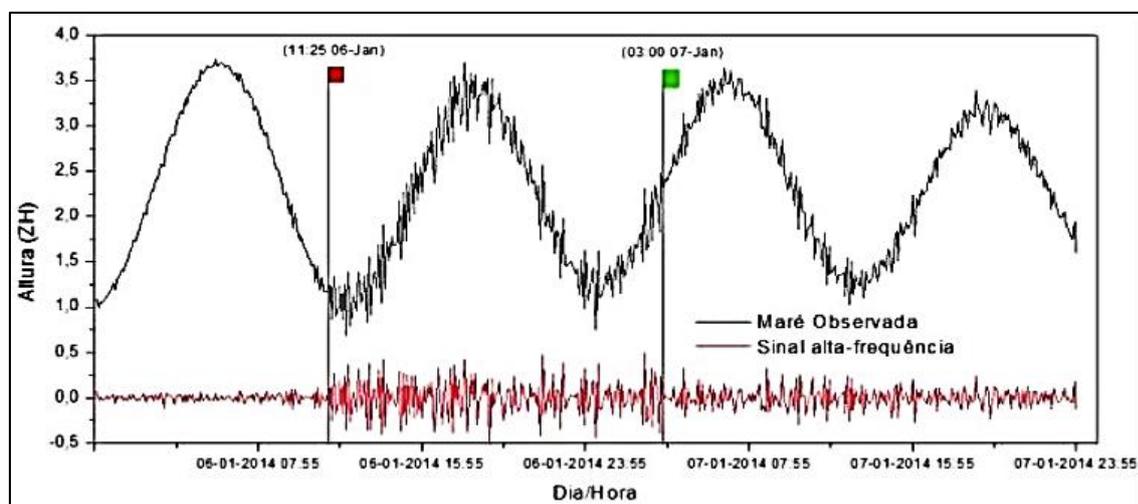


Figura III. 13 – Registo da maré em Cascais (preto) e diferença entre a maré registada e a maré prevista (SM a vermelho), com oscilação de alta frequência de maré correspondente à passagem da tempestade Christina.

Com base na Tabela III. 5, na qual estão registados os valores da MO (marégrafo de Cascais) e MP (IH), confirma-se o observado no gráfico da figura acima.

Capítulo III – Aplicação e validação dos modelos em condições de tempestade

Tabela III. 5 – Registos da Maré Observada (marégrafo de Cascais), Maré Prevista (IH) e SM referentes ao dia 7 de Janeiro de 2014.

Horas	MO ao NMM (mm)	MO ao ZH (m)	MP (IH)	SM	SM média
00:27	-928	1.152	1.01	0.142	0.21
06:51	1417	3.497	3.28	0.217	
13:06	-758	1.322	1.04	0.282	

Tendo todos os valores necessários para o cálculo do recuo relativo ao dia 7 de Janeiro de 2014 (tempestade Christina) é possível substituir as variáveis na expressão (9)

$$R = w_* \times \ln \frac{B+h_*}{(B+h_*)-s} = 550 \times \ln \frac{6.5+10}{(6.5+10)-0.21} = 7.04 \text{ m} \quad (50)$$

Para o dia 9 de Fevereiro de 2014 (tempestade Stephanie) a SM foi de 0.19 (Tabela III. 6).

Tabela III. 6 – Registos da Maré Observada (marégrafo de Cascais), Maré Prevista (IH) e SM referentes ao dia 9 de Fevereiro de 2014.

Horas	MO (mm)	MO ao ZH (m)	MP (m)	SM (m)	SM média (m)
04:46	-559	1.521	1.52	0.001	0.19
10:56	712	2.792	2.60	0.192	
17:07	-241	1.839	1.50	0.339	
23:29	917	2.997	2.78	0.217	

Para esta tempestade o recuo será

$$R = w_* \times \ln \frac{B+h_*}{(B+h_*)-s} = 430 \times \ln \frac{5.8+10}{(5.8+10)-0.19} = 5.20 \text{ m} \quad (51)$$

5.3. Modelo de Kriebel & Dean

Para o cálculo do recuo determinado através da aplicação do modelo de Kriebel & Dean utilizou-se a equação (11), que de novo se volta a apresentar

$$R(t) = R_{\infty} (1 - e^{-T_D/T_S})$$

Em que: R_{∞} é a máxima erosão esperada; T_D é a duração da tempestade e T_S é um parâmetro de escala característico do sistema, sendo determinado pela equação (12): $T_S =$

$$320 * \frac{H_b^{3/2}}{g^{1/2} * A^3} * \left(1 + \frac{h_*}{B} + \frac{\beta_f * w_*}{h_*}\right)^{-1}.$$

Para o parâmetro A utilizou-se o tamanho médio das partículas calculado anteriormente, (0.123). O valor de T_S para a tempestade de Janeiro e Fevereiro é, respectivamente,

$$T_S = 320 \times \frac{7^{3/2}}{9.81^{1/2} \times 0.123^3} \times \left(1 + \frac{10}{5.5} + \frac{1.7 \times 550}{10}\right)^{-1} = 10556 \quad (52)$$

$$T_S = 320 \times \frac{5.15^{3/2}}{9.81^{1/2} \times 0.123^3} \times \left(1 + \frac{10}{5.5} + \frac{1.7 \times 430}{10}\right)^{-1} = 8452 \quad (53)$$

O valor da duração da tempestade (T_D) foi determinado através do tempo que decorreu desde a BM até à PM para cada tempestade. Para as duas tempestades obteve-se um valor de 6h13m (1H) que equivale a 22068 segundos.

Projectando no ábaco os valores de T_D/T_S para as duas tempestades, retira-se o valor de R_{\max}/R_{∞} . (Figura III. 14). A linha a cheio corresponde à tempestade Christina e a linha a tracejado corresponde à tempestade Stephanie.

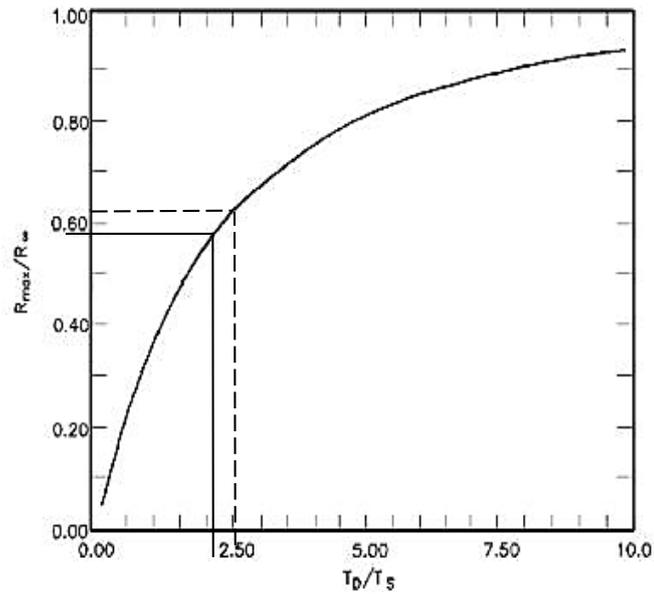


Figura III. 14 – Projecção dos valores de TD/Ts para as duas tempestades de 2014: linha a cheio – tempestade Christina; linha a tracejado – tempestade Stephanie.

Para a primeira tempestade o valor de R_{max}/R_{∞} foi de 0.58 m e para a segunda foi de 0.62 m. sabendo o valor de R_{max} determina-se o valor de R_{∞} .

Para o cálculo da erosão máxima (R_{max}) será aplicada a expressão proposta por Dean (1991),

$$\frac{R_{max}}{w_*} = \frac{0.068 \frac{H_b + S}{B}}{1 + 1.28 \frac{H_b}{B}} \Leftrightarrow R_{max} = w_* \frac{0.068 H_b + S}{B + 1.28 H_b} \quad (54)$$

Substituindo as variáveis pelos respectivos valores determina-se o recuo máximo esperado para a tempestade de Janeiro e de Fevereiro, respectivamente.

$$R_{max} = 550 \frac{0.068 * 7 + 0.21}{5.5 + 1.28 * 7} = 20.62 \text{ m} \quad (55)$$

$$R_{\infty} = 26.62 \times 0.58 \approx 12 \text{ m} \quad (56)$$

$$R_{max} = 430 \frac{0.068 * 5.15 + 0.19}{5.5 + 1.28 * 5.15} = 20.59 \text{ m} \quad (57)$$

$$R_{\infty} = 17.7 \times 0.6 \approx 13 \text{ m} \quad (58)$$

Tendo todos os valores necessários é possível calcular o valor do recuo total.

$$R(t) = 12 \times (1 - e^{-2.09}) = 10.48 \text{ m} \quad (59)$$

e

$$R(t) = 13 \times (1 - e^{-2.61}) = 11.83 \text{ m} \quad (60)$$

5.4. Modelo de Larson *et al*

Para o cálculo do recuo determinado através da aplicação do modelo de Larson *et al.* (2004) utilizaram-se as equações que consideram uma variação sinusoidal do nível do mar e do *runup*.

Para este caso estas variações são descritas pelas equações (26) e (27)

$$z = z - z_a \sin\left(\frac{\pi t}{T_D}\right) \quad \text{e} \quad R_{up} = R_{up_i} - R_{up_a} \sin\left(\frac{\pi t}{T_D}\right)$$

Em que: z_a e R_{up_a} correspondem à amplitude da variação sinusoidal do nível do mar e do *runup*, respectivamente; R_{up_i} corresponde à altura do *runup* quando $t=0$; T_D corresponde à duração da tempestade ($0 < t < T_D$).

A variação do volume ao longo do tempo é dada pela equação (28)

$$\frac{dV}{dt} = -4 \frac{C_s}{T} \left(R_{up_T} \sin\left(\frac{\pi t}{T_D}\right) - z_D \right)^2$$

onde $R_{up_T} = R_{up_a} + z_a$ e $z_D = z_i - R_{up_i}$.

Para que a expressão seja válida, $\frac{dV}{dt} < 0$, ou seja, a duna tem de estar a erodir. Se $z_D < 0$ a condição é sempre cumprida, mas se $z_i > R_{up_i}$ a condição é apenas válida para uma determinada porção da tempestade, quando as ondas atingem a duna provocando erosão. Dizer que $z_D < 0$ é o mesmo que $z_i - R_{up_i} < 0 = z_i < R_{up_i}$, ou seja, a distância vertical, quando $t=0$, desde nível do mar à base da duna deve ser inferior ao *runup*, quando $t=0$.

O tempo em que as ondas começam a incidir sobre a base da duna é dado pela equação (29). A variação do volume (m^3/m) é dada pela equação (30).

$$t_L = \frac{T_D}{\pi} \arcsin\left(\frac{z_D}{R_{up_T}}\right)$$

$$\Delta V_E = 8 \frac{C_s}{T} \left(\left(\frac{T_D}{2} - t_L \right) \left(\frac{1}{2} R_{up_T}^2 + z_D^2 \right) + R_{up_T}^2 \frac{T_D}{4\pi} \sin\left(2 \frac{\pi t_L}{T_D}\right) - 2 R_{up_T} z_D \frac{T_D}{\pi} \cos\left(\frac{\pi t_L}{T_D}\right) \right)$$

Sendo t_L ($t_L < t < T_D - t_L$) o tempo em que as dunas estão expostas à erosão.

A Tabela III. 7 sintetiza os valores das diferentes variáveis para as duas tempestades: z_a , corresponde à cota da PM para o dia 7 de Janeiro no que diz respeito à tempestade Christina, e para o dia 9 de Fevereiro para a tempestade Stephanie. Os dados de maré retiraram-se da Tabela III. 5 e Tabela III. 6; z_i corresponde à diferença de cota entre a PM e a base da duna (estimada em 4 m), para cada tempestade; R_{up_a} e R_{up_i} foram estimados através do cálculo do *runup* total de acordo com a expressão de Masselink and Hughes (2003) e considerando que a cota média do máximo espraio para a tempestade Christina na foz do Lizandro foi de aproximadamente 9.1 m (FCUL, 2014) de acordo com os dados de campo e que nesta tempestade a base da duna começou a ser atuada pelo espraio quando a maré se encontrava a meio da enchente.

Tabela III. 7 – Valor dos parâmetros para os dias 7 de Janeiro de 2014 e 9 de Fevereiro de 2014, referentes às duas tempestades que atingiram a costa portuguesa no inverno de 2014.

Variáveis	Tempestade	
	Christina	Stephanie
z_a	1.41	0.92
z_i	2.59	3.08
R_{up_a}	4.41	3.52
R_{up_i}	2.59	2.48
z_D	0	0.6
R_{up_T}	5.83	4.44
T_D	22068	22068
t_L	0	953
T	18.62	9.7
ΔV_E	108	83
Recuo	19.6	15.1

5.5. Síntese

Na Tabela III. 8 comparam-se os valores medidos pela análise fotogramétrica da base da duna, com os valores obtidos pelos três modelos aplicados. Nesta comparação é preciso ter em consideração que entre os levantamentos realizados, as principais tempestades correspondem à tempestade Christina para o intervalo Janeiro-Fevereiro e Stephanie para o intervalo Fevereiro-Março. No entanto, a resposta morfológica observada corresponde aos recuos acumulados induzidos pelos vários eventos ocorridos no período em análise (Figura III. 15), pelo que a análise da comparação entre os valores observados e previstos deverá considerar este facto.

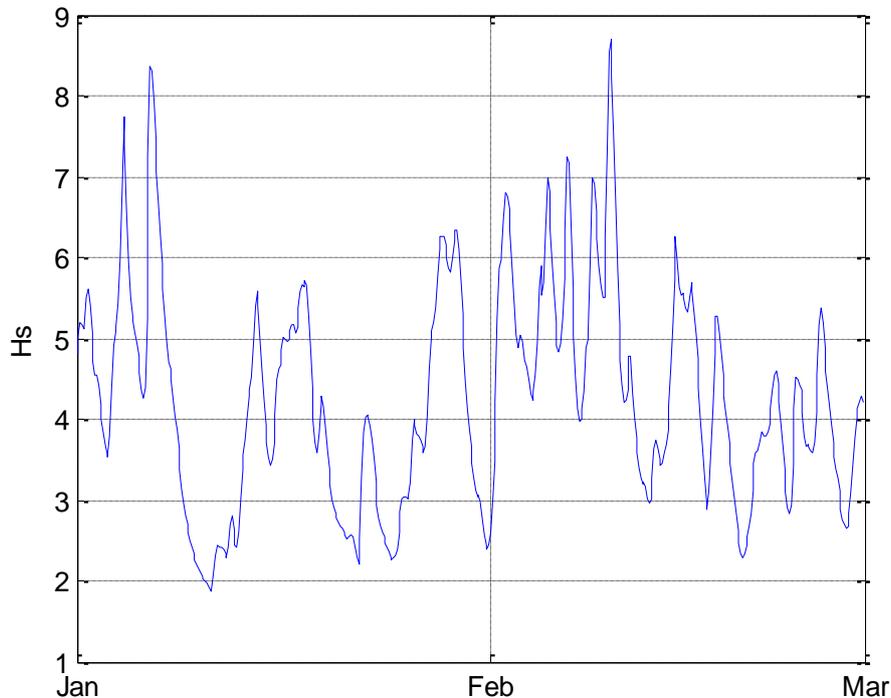


Figura III. 15 – Picos correspondentes aos diferentes eventos de tempestade que atingiram a costa portuguesa no inverno de 2014 (MATLAB).

Para o primeiro intervalo de tempo o valor determinado pelo modelo de Edelman é relativamente próximo do observado enquanto os valores estimados pelos outros modelos são claramente superiores. Relativamente ao segundo intervalo de tempo verifica-se que o valor determinado tanto pelo modelo de Kriebel e Dean como pelo modelo de Larson *et al.* se aproximam muito do valor acumulado para o recuo da base da duna.

Capítulo III – Aplicação e validação dos modelos em condições de tempestade

Tabela III. 8 – Comparação dos valores calculados através dos modelos de Edelman, Kriebel & Dean e Larson *et al*, com os valores medidos pelo método da análise de fotogrametria terrestre.

Recuo (m)							
Análise fotogramétrica Janeiro-Fevereiro (base)	Modelos empíricos T. Christina			Análise fotogramétrica Fevereiro-Março (base)	Modelos empíricos T. Stephanie		
	Edelman	Kriebel & Dean	Larson <i>et al</i> (2004)		Edelman	Kriebel & Dean	Larson <i>et al</i> (2004)
6.5	7.0	10.5	19.6	17	5.2	11.8	15.1

O melhor ajuste obtido através do modelo de Edelman, não significa que este é o modelo que melhor prevê a erosão induzida por tempestades, uma vez que depende essencialmente da sobrelevação meteorológica enquanto os principais factores que determinam a evolução da duna são as características da agitação incidente e o nível de maré, variáveis que só são consideradas no modelo Larson *et al*. No entanto, este último modelo ainda apresenta limitações evidentes, uma vez que sobrestimou claramente a magnitude da erosão observada.

Capítulo IV – Considerações finais

A zona costeira é um dos ambientes naturais mais dinâmicos e frágeis, onde o equilíbrio dinâmico natural pode ser facilmente alterado (Borges *et al.*, 2009) devido, em parte à erosão.

A erosão costeira, que se traduz na tendência de recuo da linha de costa, é um processo de evolução que tem vindo a aumentar, trazendo como consequência directa a redução da área das praias e a destruição das dunas. Estas últimas constituem, muitas vezes, uma linha de defesa natural contra a acção das ondas durante as tempestades. À erosão costeira, e em particular à erosão das dunas, pode associar-se a destruição do património construído e mesmo conduzir a perdas de vida humana por vezes agravada por eventos de inundação e galgamento oceânico.

O perfil de praia tende sempre para o equilíbrio, pelo que, se há défice sedimentar (quando a magnitudes dos sumidouros é superior ao das fontes sedimentares), as ondas irão retirar sedimentos à zona subárea (dunas) para colocar na zona submarina. Deste modo o recuo da linha de costa será maior.

Para a quantificação da erosão do perfil de praia provocada pelas tempestades marítimas foram analisados três modelos analíticos: modelo de Edelman; modelo de Kriebel & Dean; e modelo de Larson *et al.*. Estes são modelos matemáticos em que a solução usada para descrever as mudanças num sistema pode ser descrita por uma função.

Destes modelos conclui-se que o mais adequado para aplicação à costa portuguesa é o de Larson *et al.* pois é o único que contempla directamente o efeito da maré. O nível da maré tem uma grande importância no cálculo da erosão durante uma tempestade, pois se esta ocorre em preia-mar o seu nível será maior, consequentemente a altura das ondas e o seu alcance sobre o perfil de praia serão também maiores tal como os seus efeitos.

A praia da Cruz Quebrada foi escolhida como local de aplicação do modelo de Larson *et al.* em ambientes de baixa energia, uma vez que foi possível controlar simultaneamente as condições de forçamento e a resposta morfológica.

Neste caso efectuaram-se cálculos da velocidade do espraio e o cálculo da variação do volume para o caso em que há uma subida linear do nível do mar. No primeiro caso verificou-se que a velocidade do espraio apresenta algumas variações na velocidade, pois em certos pontos diminui, voltando depois a aumentar. Esta singularidade pode ser

explicada devido ao aumento do atrito que actua no novo espraio devido à ressaca da onda anterior (Van Rijn, 2013).

Relativamente ao cálculo da variação do volume, os valores obtidos através da aplicação das expressões referentes à subida linear do nível médio do mar revelaram que os valores determinados são inferiores aos experimentais. Na generalidade dos casos o modelo tende a subestimar os valores observados em cerca de 50%. Estas diferenças estarão associadas à incapacidade do modelo em reproduzir de forma adequada os processos físicos associados à erosão dunar e também à existência da variabilidade natural presente nos dados de campo que, segundo Van Thiel de Vries (2009) se pode dever a: 1) a elevada variabilidade temporal e espacial da altura e velocidade do espraio; 2) a geometria da frente de erosão da duna apresenta uma forma irregular.

A praia da Foz do Lizandro foi o caso de estudo para as aplicações dos modelos em condições de tempestade pois apresenta uma escarpa de erosão causada pelas ondas de tempestade e por ter sido estudada previamente, permitindo a projecção da erosão ao longo do tempo. Para o primeiro intervalo de tempo (Janeiro-Fevereiro) o valor determinado pelo modelo de Edelman é relativamente próximo do observado enquanto os valores estimados pelos outros modelos são claramente superiores. Relativamente ao segundo intervalo de tempo (Fevereiro-Março) verifica-se que o valor determinado tanto pelo modelo de Kriebel e Dean como pelo modelo de Larson *et al.* se aproximam muito do valor acumulado para o recuo da base da duna.

O melhor ajuste obtido através do modelo de Edelman, não significa que este é o modelo que melhor prevê a erosão induzida por tempestades, uma vez que depende essencialmente da sobrelevação meteorológica enquanto os principais factores que determinam a evolução da duna são as características da agitação incidente e o nível de maré, variáveis que só são consideradas no modelo Larson *et al.*. No entanto, este último modelo ainda apresenta limitações evidentes, uma vez que sobrestimou claramente a magnitude da erosão observada.

Lista de símbolos

A – parâmetro de escala do perfil que se relaciona com o tamanho médio dos grãos;

a – coeficiente que descreve a taxa de aumento do nível do mar (s^{-1});

B – altura da duna (m);

B' – distância vertical entre o topo da duna e o início do espraio (m);

C_E – coeficiente empírico;

C_u – coeficiente empírico;

C_s – coeficiente empírico;

dV (ou ΔV) – variação do volume (m^3);

dt (Δt) – variação do tempo (s);

dz_o – variação de z_o (m);

F – força do espraio (N/m);

g – aceleração da gravidade (m/s^2);

h* – profundidade de rebentação (m);

H – altura das ondas (m);

H_b – altura da onda na rebentação (m);

H_o – altura da onda ao largo (m);

k – constante que depende da natureza do transporte;

L_d – comprimento da duna (m);

L_o – comprimento de onda em águas profundas (m);

p – porosidade do sedimento;

q_D – taxa média de erosão dunar (m^3/ms);

q_s – transporte que resulta da força entre o declive e da gravidade (m^3/ms);

q_w – quantidade de areia transportada pelas ondas (m^3/m);

R – recuo da linha de costa (m);

R(t) – recuo ao longo do tempo (m/s);

Lista de símbolos

R_{∞} - erosão máxima esperada (m^3/m);

s - subida do nível do mar (m);

R_{up} - run up (m);

R_{up_a} - amplitude da variação sinusoidal do nível run up (m);

R_{up_i} - altura do run up quando $t=0$;

$R_{up_T} = R_{up_a} + x_a$;

t - tempo (s);

t_B - tempo necessário para a erosão total da duna (s);

t_L - tempo em que as ondas começam a bater nas dunas (s);

T_D - duração da tempestade (s);

T_s - parâmetro de escala característico do sistema;

T - período das ondas (s);

u_0 - velocidade do espraio na base da duna (m/s);

u_s - velocidade inicial do espraio (m/s);

V - volume inicial (m^3/m);

x - distância da linha de costa a h^* (m);

w^* - comprimento do perfil activo (m);

z - profundidade da água (m);

z_0 - distância vertical entre o nível do mar e a base da duna (m);

z_a - amplitude da variação sinusoidal do nível do mar (m);

$z_D = z_i - R_{up_i}$;

z_i - distância vertical entre o início do espraio e a base da duna quando $t=0$ (m);

z_m - elevação inicial da base da duna;

ρ - densidade da água (Kg/m^3);

ρ_s - densidade do sedimento (kg/m^3);

β_f – Declive médio do perfil activo;

ΔV_- - volume necessário para restabelecer o equilíbrio (m^3/m);

ΔV_+ - volume gerado pelo recuo, R (m^3);

Δy – volume final (m^3);

ΔW – peso do volume erodido (N/m);

ΔV_E – variação do volume erodido (m^3);

Glossário

1.1. Linha de costa³

Fronteira entre a terra e o mar, materializada pela intercepção do nível médio do mar com a zona terrestre.

1.2. Litoral⁴

Termo geral que descreve porções do território que são influenciadas directa e indirectamente pela proximidade do mar.

1.3. Maré⁵

Subidas e descidas periódicas do nível do mar e de outros corpos de água ligados ao oceano, causadas principalmente pela interferência da Lua e do Sol sobre o campo gravítico da Terra por serem o objecto relevante mais próximo da Terra e de maior massa, respectivamente. O facto de a Lua estar mais perto da Terra faz com que seja a principal causa geradora de marés. Pode ser também designada por onda de maré, pois na verdade é uma onda com um comprimento de onda muito grande.

Devido a questões de equilíbrio, a deformação formada na zona da Terra mais próxima do astro que provoca essa deformação (maré directa) tem que ser compensada por deformação análoga na região oposta (antípoda) da Terra (maré reflexa).

As chamadas marés vivas ocorrem quando existe coincidência entre a maré directa (Terra – Lua – Sol) ou reflexa (Lua – Terra – Sol) da Lua e a do Sol. Quando a Lua e o Sol apresentam posições ortogonais designa-se a maré de maré morta, pois há uma distribuição mais equilibrada das águas oceânicas pela superfície terrestre (Figura 1).

³ De acordo com Veloso-Gomes, 2007;

⁴ De acordo com Veloso-Gomes, 2007;

⁵ De acordo com a Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos;

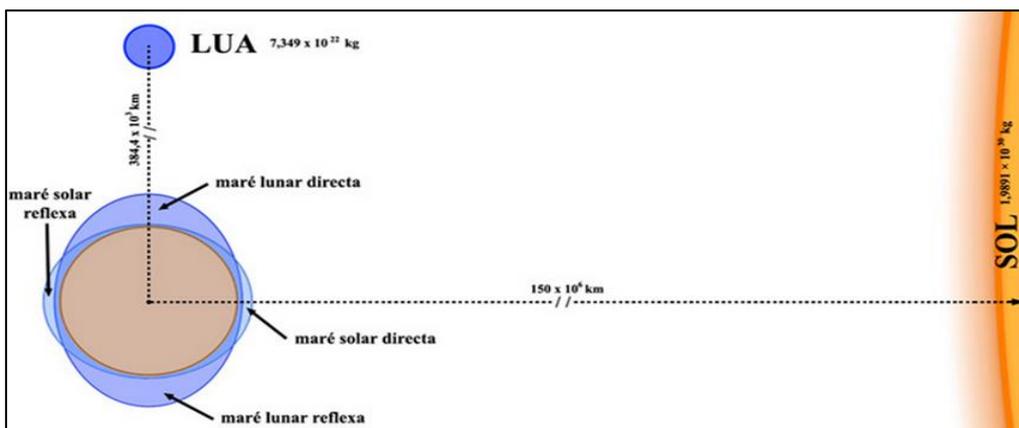


Figura 1 – Esquema ilustrativo da acção da Lua na geração das marés (APRH).

1.4. Orla costeira⁶

Porção do território onde o mar exerce directamente a sua acção, coadjuvado pela acção eólica, e que tipicamente se estende para o lado de terra por centenas de metros e se estende, do lado do mar, até à batimétrica dos 30 m (englobando a profundidade de fecho).

1.5. Perfil de praia

Os perfis de praia na natureza são complexos e dinâmicos, mudando com as alterações das marés, ondas, vento, correntes e abastecimento sedimentar (Dean, 1983).

Masseelink e Hughes (2003) definem a praia como um depósito de areia ou cascalho que se encontram em ambientes marinhos, lacustres e estuarinos. Geralmente define-se como a faixa que se estende entre dois limites físicos, um para terra e outro em direcção ao mar. Para mar, a praia estende-se até à profundidade a partir da qual as ondas deixam de interagir significativamente com o fundo (designada de profundidade de fecho, dc). Para terra a praia estende-se até uma zona caracterizada por uma mudança fisiográfica, como uma duna ou uma arriba, ou um local que se encontra vegetado de modo permanente. Estes dois limites estão sujeitos a variações, devido à batimetria dos fundos oceânicos (que condiciona a profundidade de fecho) e devido ao recuo, por erosão, das arribas ou dunas.

A praia pode ser dividida em dois domínios: praia submarina e a praia subaérea. Os limites que definem estes dois domínios são flexíveis pois dependem das marés e do regime de agitação. A praia submarina corresponde à porção de praia que se encontra

⁶ De acordo com Veloso-Gomes, 2007;

permanentemente dentro de água (seja qual for a maré). A praia subaérea corresponde ao domínio intertidal (foreshore, no qual se faz sentir o espraio e a ressaca) e supratidal (backshore, que só é tocada pelo mar em regime de tempestades). As dunas situam-se acima da zona supratidal, pelo que apenas serão afectadas pela acção das ondas em regime de tempestade.

A inclinação do perfil de praia depende do tamanho dos grãos: quanto menor o tamanho das partículas menor será a inclinação da praia (Davidson-Arnott, 2010). Inversamente, quanto maiores forem as partículas maior será a inclinação.

1.6. Sobrelevação meteorológica

A sobrelevação meteorológica (SM) corresponde à contribuição dos processos físicos de origem atmosférica que provocam uma alteração no nível médio do mar (NMM) relativamente ao nível previsto (Vieira *et al.*, 2012). Normalmente encontra-se associado aos eventos de tempestade. Esta é calculada pela diferença entre a maré observada e a maré astronómica e está normalmente associada às descidas de pressão atmosférica. Quando há uma descida da pressão, pelo facto da superfície do mar ser uma superfície livre de equilíbrio, há uma subida do nível do mar (geralmente a descida de 1 milibar reflecte-se numa subida de 10 mm no nível do mar). Associada às baixas pressões verificam-se ventos fortes e, como consequência, uma maior acumulação de água junto da linha de costa. Pode dar-se também o efeito contrário, sobrelevação negativa, que ocorre quando há elevadas pressões atmosféricas.

A sobrelevação meteorológica também vai influenciar a altura das ondas, fazendo com que esta seja maior. O *runup* das ondas associado à sobrelevação vai ser maior, pelo que as cotas atingidas são também maiores, o que pode provocar uma maior inundação. As consequências deste fenómeno vão ser mais perigosas quando associado a maré cheia e temporais.

1.7. Zona costeira

Porção de território influenciada directa e indirectamente em termos biofísicos pelo mar (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade) e que pode ter para o lado de terra largura tipicamente de ordem quilométrica e se estende, do lado do mar, até ao limite da plataforma continental. Na Figura 2 é possível observar os diferentes domínios que compõem a zona costeira.

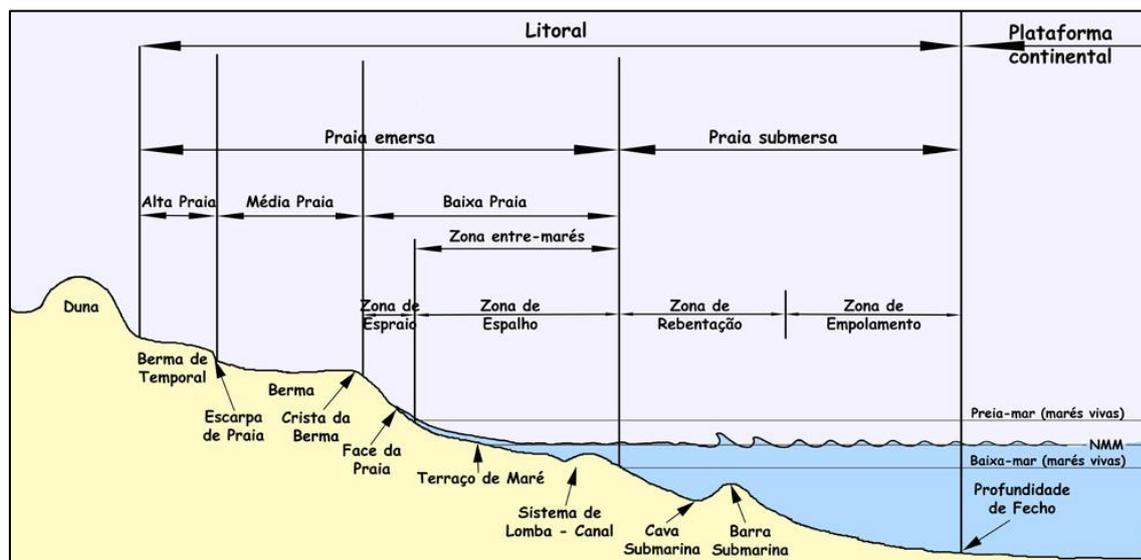


Figura 2 – Representação esquemática das divisões que compõem a zona costeira (fonte: APRH).

Referências bibliográficas

Borges, P., Lameiras, G., Calado, H. (2009). A erosão costeira como factor condicionante da sustentabilidade. Actas do 1º congresso de Desenvolvimento de Cabo Verde/15º Congresso APDR, ISBN 9789899635302, Cabo Verde, pp. 66-75;

Bruun, P., F, ASCE (1962). Sea level rise as a cause of shore erosion. American Society of Civil Engineers, pp. 37-50;

Carapuço, M. M., Ribeiro, M. A., Taborda, R. (2014). Assessing beach morphodynamics through close-range photo-monitoring. 3^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, p. 4;

Davidson-Arnott, R. (2010). *An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press, pp. 458;

Dean, R. G. (1983). Shoreline erosion due to extreme storms. Coastal and Oceanographic Engineering Department University of Florida, p. 67;

Dean, R. G., Maurmeyer, E. M. (1983). *Models for beach profile response.*, 151- p. 165;

Dean, R. G. (1991). Equilibrium beach profiles: Characteristics and applications. Journal of Coastal Research, 7 pp. 53-84;

Dean, R. G., Dalrymple, R. A. (2002). *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press, pp. 475;

Edelman, T. – *Dune erosion during storm conditions*, Proceedings at the 11^a Conference on Coastal Engineering, London, Volume 1, Sept 1968, pp. 719–722;

Edelman, T. *Dune erosion during storm conditions*, Proceedings at the 13^a Conference on Coastal Engineering, Vancouver, Volume 2, July 1972, pp. 1305–1311;

FCUL (2014). Impacto da tempestade Christina nas praias da APA, I.P./ARH Tejo. Relatório complementar ao projeto “Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral sob jurisdição da ARH Tejo”. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Centro de Geologia. Instituto Dom Luiz. 78p;

Hallermeier, R. J. (1978). Uses for a calculated limit depth to beach erosion. *Proceedings, 16th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers*, 1493- 15 12;

Instituto Hidrográfico (IH, 1987). Carta Costeira nº 37, Cabo da Roca ao Cabo Espichel. Série de Cartas costeiras na escala 1:75000;

Instituto Hidrográfico. Tabela de Marés. Volume I – Portugal 2015. Lisboa, Portugal, 2014. ISBN: 978-989-705-067-1;

Kriebel, D. L., Dean, R. G. (1984). *Beach and dune response to severe storm*, pp. 1589-1599. Coastal and Oceanographic Engineering Department, University of Florida;

Larson, M., Erikson, L., Hanson, H. (2004). An analytical model to predict dune erosion due to wave impact. *Coastal Engineering*, 51(8-9), p. 675–696;

Masselink, G., Hughes M. G. (2003). *Introduction to Coastal Processes & Geomorphology*. Hodder Education, and Hachette UK Company, pp. 354;

Ramalho, M. M., Rey, J., Zbyszewski, G., Matos Alves, C. A., Palácios, T., Moitinho D’Almeida, F., Cosa, C., Kulberg, M. C. (2001). Notícia Explicativa da Folha 34-C Cascais, da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000. Serviços Geológicos de Portugal;

Schwartz M. L. (1967). The Bruun theory of sea-level rise as a cause of shore erosion. *The Journal of Geology*, vol. 75, N° 1, p. 76-92. University of Chicago Press;

Thiel de Vries, J. V. (2009). Dune erosion during storm surges. *Deltares Select Series*. Volume 3. ISSN 1877-5608;

Van Rijn, L. C. (2013) Erosion of gravel/Shingle beaches and barriers. *Conscience*, p. 52;

Veloso-Gomes, F. (2007). A Gestão da Zona Costeira Portuguesa. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 7, pp. 83-95;

Vieira, R., Antunes, C., Taborda, R. (2012). Caracterização da sobrelevação meteorológica em Cascais nos últimos 50 anos. 2^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, p. 4;

Wright, L. D., Short, A.D. (1984). *Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A Synthesis*. *Marine Geology*, 56, pp. 93-118;

Zbyszewski, G., Moitinho D’Almeida, F., Torre de Assunção, C. (1995). Notícia Explicativa da Folha 30-C Torres Vedras, da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000. Serviços Geológicos de Portugal;

Referências electrónicas

<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/index.html>;

http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_mares.html;

<http://www.hidrografico.pt/>;

<ftp://ftp.igeo.pt/Cascais/maregrafo>;

<http://www.ipma.pt/pt/>.

Anexo A – Registo da bóia ondógrafo de Leixões

Tabela A. 1 – Registo da bóia ondógrafo de Leixões (fonte: www.hidrografico.pt.)

Data	Hora	H _s (m)	H _{max} (m)	T _z (s)	T _{max} (s)	Direcção
27-10-2014	10:00	2.01	2.55	10.9	19.5	NW
27-10-2014	10:10	2.32	3.34	10.8	18	NW
27-10-2014	10:20	2.53	3.88	12.2	18.8	NW
27-10-2014	10:30	2.02	2.66	11.3	19.5	NW
27-10-2014	10:40	2.2	3.87	11.3	19.5	NW
27-10-2014	10:50	2.09	3.37	11.5	17.2	NW
27-10-2014	11:00	2.25	3.91	11.5	19.5	NW
27-10-2014	11:10	2.23	2.85	11.5	17.2	NW
27-10-2014	11:20	2.4	3.05	11.8	18	NNW
27-10-2014	11:30	2.58	3.88	12.8	19.5	NNW
27-10-2014	11:40	2.19	2.96	11.4	18	NNW
27-10-2014	11:50	1.97	3.2	10	18.8	NW
27-10-2014	12:00	2.42	3.28	11.8	19.5	NW
27-10-2014	12:10	2.5	3.46	11.6	21.1	NW
27-10-2014	12:20	2.45	3.38	12.8	18	NNW
27-10-2014	12:30	2.09	2.86	10.2	18	NNW
27-10-2014	12:40	2.21	3.68	10.6	16.4	NNW
27-10-2014	12:50	2.15	3	10.7	20.3	NNW
27-10-2014	13:00	1.99	2.84	10.7	17.2	NNW
27-10-2014	13:10	2.34	3.31	11.7	18	NNW
27-10-2014	13:20	1.83	4.03	10.3	14.8	NW
27-10-2014	13:30	2.24	3.42	11.4	17.2	NW
27-10-2014	13:40	2.69	3.65	11.4	16.4	NW
27-10-2014	13:50	2.24	3.63	11.5	18	NW
27-10-2014	14:00	2.12	3.21	12.2	18.8	NW
27-10-2014	14:10	1.92	3.63	10.9	19.5	NW
27-10-2014	14:20	2.55	3.5	12.2	18	NW
27-10-2014	14:30	1.84	2.97	10.4	18	NW
27-10-2014	14:40	2.3	3.74	11.8	16.4	NW
27-10-2014	14:50	2.2	3.56	10.9	19.5	NW
27-10-2014	15:00	1.56	2.53	9.2	17.2	NW
27-10-2014	15:10	2.24	2.9	10.6	18.8	NW

Anexo B – Registos do transdutor

Tabela B. 1 – Registos dos 10 minutos medidos pelo transdutor dentro de água.

Data e hora	Segundos	Profundidade (m)	Coluna de água acima do transdutor (m)	altura da coluna de água (m)	cota da superfície livre (m)
27-10-2014 14:06	3960.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:06	3960.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:06	3961.001	10.58	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:06	3961.501	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:06	3962.001	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:06	3962.501	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:06	3963.001	10.49	0.32	0.39	0.36
27-10-2014 14:06	3963.501	10.48	0.31	0.38	0.35
27-10-2014 14:06	3964.001	10.43	0.26	0.33	0.30
27-10-2014 14:06	3964.501	10.41	0.24	0.31	0.28
27-10-2014 14:06	3965.001	10.42	0.25	0.32	0.29
27-10-2014 14:06	3965.501	10.46	0.29	0.36	0.33
27-10-2014 14:06	3966.001	10.49	0.32	0.39	0.36
27-10-2014 14:06	3966.501	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:06	3967.001	10.49	0.32	0.39	0.36
27-10-2014 14:06	3967.501	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:06	3968.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:06	3968.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:06	3969.001	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:06	3969.501	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:06	3970.001	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:06	3970.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:06	3971.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:06	3971.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:06	3972.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:06	3972.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:06	3973.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:06	3973.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:06	3974.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:06	3974.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:06	3975.001	10.63	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:06	3975.501	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:06	3976.001	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:06	3976.501	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:06	3977.001	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:06	3977.501	10.53	0.36	0.43	0.40
27-10-2014 14:06	3978.001	10.53	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:06	3978.501	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:06	3979.001	10.50	0.33	0.40	0.37
27-10-2014 14:06	3979.501	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:06	3980.001	10.49	0.32	0.39	0.36
27-10-2014 14:06	3980.501	10.45	0.28	0.35	0.32
27-10-2014 14:06	3981.001	10.42	0.25	0.32	0.29
27-10-2014 14:06	3981.501	10.40	0.23	0.30	0.27
27-10-2014 14:06	3982.001	10.38	0.21	0.28	0.25

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:06	3982.501	10.48	0.31	0.38	0.35
27-10-2014 14:06	3983.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:06	3983.501	10.65	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:06	3984.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:06	3984.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:06	3985.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:06	3985.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:06	3986.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:06	3986.501	10.68	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:06	3987.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:06	3987.501	10.73	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:06	3988.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:06	3988.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:06	3989.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:06	3989.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:06	3990.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:06	3990.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:06	3991.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:06	3991.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:06	3992.001	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:06	3992.501	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:06	3993.001	10.53	0.36	0.43	0.40
27-10-2014 14:06	3993.501	10.55	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:06	3994.001	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:06	3994.501	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:06	3995.001	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:06	3995.501	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:06	3996.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:06	3996.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:06	3997.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:06	3997.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:06	3998.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:06	3998.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:06	3999.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:06	3999.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:06	4000.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:06	4000.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:06	4001.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:06	4001.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:06	4002.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:06	4002.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:06	4003.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:06	4003.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:06	4004.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:06	4004.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:06	4005.001	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:06	4005.501	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:06	4006.001	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:06	4006.501	10.49	0.32	0.39	0.36
27-10-2014 14:06	4007.001	10.48	0.31	0.38	0.35
27-10-2014 14:06	4007.501	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:06	4008.001	10.57	0.40	0.47	0.44

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:06	4008.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:06	4009.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:06	4009.501	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:06	4010.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:06	4010.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:06	4011.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:06	4011.501	10.74	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:06	4012.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:06	4012.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:06	4013.001	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:06	4013.501	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:06	4014.001	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:06	4014.501	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:06	4015.001	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:06	4015.501	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:06	4016.001	10.60	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:06	4016.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:06	4017.001	10.82	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:06	4017.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:06	4018.001	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:06	4018.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:06	4019.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:06	4019.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:07	4020.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:07	4020.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:07	4021.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:07	4021.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:07	4022.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:07	4022.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:07	4023.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:07	4023.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:07	4024.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:07	4024.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:07	4025.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:07	4025.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:07	4026.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:07	4026.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:07	4027.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:07	4027.501	10.76	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:07	4028.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:07	4028.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:07	4029.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:07	4029.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:07	4030.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:07	4030.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:07	4031.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:07	4031.501	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:07	4032.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:07	4032.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:07	4033.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:07	4033.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:07	4034.001	10.79	0.61	0.68	0.65

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:07	4034.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:07	4035.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:07	4035.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:07	4036.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:07	4036.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:07	4037.001	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:07	4037.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:07	4038.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:07	4038.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:07	4039.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:07	4039.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:07	4040.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:07	4040.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:07	4041.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:07	4041.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:07	4042.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:07	4042.501	10.74	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:07	4043.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:07	4043.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:07	4044.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:07	4044.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:07	4045.001	10.57	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:07	4045.501	10.58	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:07	4046.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:07	4046.501	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:07	4047.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:07	4047.501	10.94	0.77	0.84	0.81
27-10-2014 14:07	4048.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:07	4048.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:07	4049.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:07	4049.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:07	4050.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:07	4050.501	10.81	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:07	4051.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:07	4051.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:07	4052.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:07	4052.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:07	4053.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:07	4053.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:07	4054.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:07	4054.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:07	4055.001	10.74	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:07	4055.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:07	4056.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:07	4056.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:07	4057.001	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:07	4057.501	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:07	4058.001	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:07	4058.501	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:07	4059.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:07	4059.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:07	4060.001	10.90	0.72	0.79	0.76

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:07	4060.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:07	4061.001	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:07	4061.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:07	4062.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:07	4062.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:07	4063.001	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:07	4063.501	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:07	4064.001	10.93	0.76	0.83	0.80
27-10-2014 14:07	4064.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:07	4065.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:07	4065.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:07	4066.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:07	4066.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:07	4067.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:07	4067.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:07	4068.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:07	4068.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:07	4069.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:07	4069.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:07	4070.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:07	4070.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:07	4071.001	10.69	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:07	4071.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:07	4072.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:07	4072.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:07	4073.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:07	4073.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:07	4074.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:07	4074.501	10.63	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:07	4075.001	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:07	4075.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:07	4076.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:07	4076.501	10.55	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:07	4077.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:07	4077.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:07	4078.001	10.93	0.76	0.83	0.80
27-10-2014 14:07	4078.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:07	4079.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:07	4079.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:08	4080.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:08	4080.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:08	4081.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:08	4081.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:08	4082.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:08	4082.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:08	4083.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:08	4083.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:08	4084.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:08	4084.501	10.70	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:08	4085.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:08	4085.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:08	4086.001	10.65	0.48	0.55	0.52

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:08	4086.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:08	4087.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:08	4087.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:08	4088.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:08	4088.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:08	4089.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:08	4089.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:08	4090.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:08	4090.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:08	4091.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:08	4091.501	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:08	4092.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:08	4092.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:08	4093.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:08	4093.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:08	4094.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:08	4094.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:08	4095.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:08	4095.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:08	4096.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:08	4096.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:08	4097.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:08	4097.501	10.83	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:08	4098.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:08	4098.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:08	4099.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:08	4099.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:08	4100.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:08	4100.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:08	4101.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:08	4101.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:08	4102.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:08	4102.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:08	4103.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:08	4103.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:08	4104.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:08	4104.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:08	4105.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:08	4105.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:08	4106.001	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:08	4106.501	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:08	4107.001	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:08	4107.501	10.58	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:08	4108.001	10.52	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:08	4108.501	10.48	0.31	0.38	0.35
27-10-2014 14:08	4109.001	10.47	0.30	0.37	0.34
27-10-2014 14:08	4109.501	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:08	4110.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:08	4110.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:08	4111.001	10.67	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:08	4111.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:08	4112.001	10.86	0.68	0.75	0.72

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:08	4112.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:08	4113.001	10.80	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:08	4113.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:08	4114.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:08	4114.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:08	4115.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:08	4115.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:08	4116.001	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:08	4116.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:08	4117.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:08	4117.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:08	4118.001	10.66	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:08	4118.501	10.62	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:08	4119.001	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:08	4119.501	10.63	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:08	4120.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:08	4120.501	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:08	4121.001	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:08	4121.501	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:08	4122.001	10.53	0.36	0.43	0.40
27-10-2014 14:08	4122.501	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:08	4123.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:08	4123.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:08	4124.001	10.81	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:08	4124.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:08	4125.001	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:08	4125.501	10.79	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:08	4126.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:08	4126.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:08	4127.001	10.77	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:08	4127.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:08	4128.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:08	4128.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:08	4129.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:08	4129.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:08	4130.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:08	4130.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:08	4131.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:08	4131.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:08	4132.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:08	4132.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:08	4133.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:08	4133.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:08	4134.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:08	4134.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:08	4135.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:08	4135.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:08	4136.001	10.74	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:08	4136.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:08	4137.001	10.65	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:08	4137.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:08	4138.001	10.76	0.59	0.66	0.63

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:08	4138.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:08	4139.001	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:08	4139.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:09	4140.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:09	4140.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:09	4141.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:09	4141.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:09	4142.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:09	4142.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:09	4143.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:09	4143.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:09	4144.001	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:09	4144.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:09	4145.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:09	4145.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:09	4146.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:09	4146.501	10.72	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:09	4147.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:09	4147.501	10.64	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:09	4148.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:09	4148.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:09	4149.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:09	4149.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:09	4150.001	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:09	4150.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:09	4151.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:09	4151.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:09	4152.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:09	4152.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:09	4153.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:09	4153.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:09	4154.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:09	4154.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:09	4155.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:09	4155.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:09	4156.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:09	4156.501	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:09	4157.001	10.61	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:09	4157.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:09	4158.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:09	4158.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:09	4159.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:09	4159.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:09	4160.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:09	4160.501	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:09	4161.001	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:09	4161.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:09	4162.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:09	4162.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:09	4163.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:09	4163.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:09	4164.001	10.75	0.58	0.65	0.62

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:09	4164.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:09	4165.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:09	4165.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:09	4166.001	10.71	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:09	4166.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:09	4167.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:09	4167.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:09	4168.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:09	4168.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:09	4169.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:09	4169.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:09	4170.001	10.72	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:09	4170.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:09	4171.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:09	4171.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:09	4172.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:09	4172.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:09	4173.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:09	4173.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:09	4174.001	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:09	4174.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:09	4175.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:09	4175.501	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:09	4176.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:09	4176.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:09	4177.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:09	4177.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:09	4178.001	10.64	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:09	4178.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:09	4179.001	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:09	4179.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:09	4180.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:09	4180.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:09	4181.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:09	4181.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:09	4182.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:09	4182.501	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:09	4183.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:09	4183.501	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:09	4184.001	10.48	0.31	0.38	0.35
27-10-2014 14:09	4184.501	10.46	0.29	0.36	0.33
27-10-2014 14:09	4185.001	10.44	0.27	0.34	0.31
27-10-2014 14:09	4185.501	10.46	0.29	0.36	0.33
27-10-2014 14:09	4186.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:09	4186.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:09	4187.001	10.53	0.36	0.43	0.40
27-10-2014 14:09	4187.501	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:09	4188.001	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:09	4188.501	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:09	4189.001	10.80	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:09	4189.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:09	4190.001	10.69	0.52	0.59	0.56

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:09	4190.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:09	4191.001	10.66	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:09	4191.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:09	4192.001	10.61	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:09	4192.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:09	4193.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:09	4193.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:09	4194.001	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:09	4194.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:09	4195.001	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:09	4195.501	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:09	4196.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:09	4196.501	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:09	4197.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:09	4197.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:09	4198.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:09	4198.501	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:09	4199.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:09	4199.501	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:10	4200.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:10	4200.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:10	4201.001	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:10	4201.501	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:10	4202.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:10	4202.501	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:10	4203.001	10.53	0.36	0.43	0.40
27-10-2014 14:10	4203.501	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:10	4204.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:10	4204.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:10	4205.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:10	4205.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:10	4206.001	10.79	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:10	4206.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:10	4207.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:10	4207.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:10	4208.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:10	4208.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:10	4209.001	10.69	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:10	4209.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:10	4210.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:10	4210.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:10	4211.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:10	4211.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:10	4212.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:10	4212.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:10	4213.001	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:10	4213.501	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:10	4214.001	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:10	4214.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:10	4215.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:10	4215.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:10	4216.001	10.73	0.56	0.63	0.60

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:10	4216.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:10	4217.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:10	4217.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:10	4218.001	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:10	4218.501	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:10	4219.001	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:10	4219.501	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:10	4220.001	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:10	4220.501	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:10	4221.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:10	4221.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:10	4222.001	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:10	4222.501	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:10	4223.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:10	4223.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:10	4224.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:10	4224.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:10	4225.001	10.66	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:10	4225.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:10	4226.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:10	4226.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:10	4227.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:10	4227.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:10	4228.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:10	4228.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:10	4229.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:10	4229.501	10.73	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:10	4230.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:10	4230.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:10	4231.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:10	4231.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:10	4232.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:10	4232.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:10	4233.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:10	4233.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:10	4234.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:10	4234.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:10	4235.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:10	4235.501	10.70	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:10	4236.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:10	4236.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:10	4237.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:10	4237.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:10	4238.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:10	4238.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:10	4239.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:10	4239.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:10	4240.001	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:10	4240.501	10.89	0.72	0.79	0.76
27-10-2014 14:10	4241.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:10	4241.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:10	4242.001	10.76	0.59	0.66	0.63

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:10	4242.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:10	4243.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:10	4243.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:10	4244.001	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:10	4244.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:10	4245.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:10	4245.501	10.76	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:10	4246.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:10	4246.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:10	4247.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:10	4247.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:10	4248.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:10	4248.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:10	4249.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:10	4249.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:10	4250.001	10.63	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:10	4250.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:10	4251.001	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:10	4251.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:10	4252.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:10	4252.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:10	4253.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:10	4253.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:10	4254.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:10	4254.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:10	4255.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:10	4255.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:10	4256.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:10	4256.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:10	4257.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:10	4257.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:10	4258.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:10	4258.501	10.76	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:10	4259.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:10	4259.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:11	4260.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:11	4260.501	10.82	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:11	4261.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:11	4261.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:11	4262.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:11	4262.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:11	4263.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:11	4263.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:11	4264.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:11	4264.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:11	4265.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:11	4265.501	10.62	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:11	4266.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:11	4266.501	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:11	4267.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:11	4267.501	10.58	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:11	4268.001	10.61	0.44	0.51	0.48

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:11	4268.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:11	4269.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:11	4269.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:11	4270.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:11	4270.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:11	4271.001	10.72	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:11	4271.501	10.73	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:11	4272.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:11	4272.501	10.78	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:11	4273.001	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:11	4273.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:11	4274.001	10.76	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:11	4274.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:11	4275.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:11	4275.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:11	4276.001	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:11	4276.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:11	4277.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:11	4277.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:11	4278.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:11	4278.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:11	4279.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:11	4279.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:11	4280.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:11	4280.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:11	4281.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:11	4281.501	10.69	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:11	4282.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:11	4282.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:11	4283.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:11	4283.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:11	4284.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:11	4284.501	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:11	4285.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:11	4285.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:11	4286.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:11	4286.501	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:11	4287.001	10.53	0.36	0.43	0.40
27-10-2014 14:11	4287.501	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:11	4288.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:11	4288.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:11	4289.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:11	4289.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:11	4290.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:11	4290.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:11	4291.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:11	4291.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:11	4292.001	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:11	4292.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:11	4293.001	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:11	4293.501	10.95	0.78	0.85	0.82
27-10-2014 14:11	4294.001	10.97	0.80	0.87	0.84

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:11	4294.501	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:11	4295.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:11	4295.501	10.74	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:11	4296.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:11	4296.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:11	4297.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:11	4297.501	10.64	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:11	4298.001	10.60	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:11	4298.501	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:11	4299.001	10.54	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:11	4299.501	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:11	4300.001	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:11	4300.501	10.50	0.33	0.40	0.37
27-10-2014 14:11	4301.001	10.51	0.33	0.40	0.37
27-10-2014 14:11	4301.501	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:11	4302.001	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:11	4302.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:11	4303.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:11	4303.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:11	4304.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:11	4304.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:11	4305.001	10.83	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:11	4305.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:11	4306.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:11	4306.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:11	4307.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:11	4307.501	10.81	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:11	4308.001	10.81	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:11	4308.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:11	4309.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:11	4309.501	10.72	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:11	4310.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:11	4310.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:11	4311.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:11	4311.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:11	4312.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:11	4312.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:11	4313.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:11	4313.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:11	4314.001	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:11	4314.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:11	4315.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:11	4315.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:11	4316.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:11	4316.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:11	4317.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:11	4317.501	10.63	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:11	4318.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:11	4318.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:11	4319.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:11	4319.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:12	4320.001	10.70	0.53	0.60	0.57

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:12	4320.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:12	4321.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:12	4321.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:12	4322.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:12	4322.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:12	4323.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:12	4323.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:12	4324.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:12	4324.501	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:12	4325.001	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:12	4325.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:12	4326.001	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:12	4326.501	10.91	0.74	0.81	0.78
27-10-2014 14:12	4327.001	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:12	4327.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:12	4328.001	10.83	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:12	4328.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:12	4329.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:12	4329.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:12	4330.001	10.76	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:12	4330.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:12	4331.001	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:12	4331.501	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:12	4332.001	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:12	4332.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:12	4333.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:12	4333.501	10.67	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:12	4334.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:12	4334.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:12	4335.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:12	4335.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:12	4336.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:12	4336.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:12	4337.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:12	4337.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:12	4338.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:12	4338.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:12	4339.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:12	4339.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:12	4340.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:12	4340.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:12	4341.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:12	4341.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:12	4342.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:12	4342.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:12	4343.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:12	4343.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:12	4344.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:12	4344.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:12	4345.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:12	4345.501	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:12	4346.001	10.81	0.64	0.71	0.68

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:12	4346.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:12	4347.001	10.79	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:12	4347.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:12	4348.001	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:12	4348.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:12	4349.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:12	4349.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:12	4350.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:12	4350.501	10.70	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:12	4351.001	10.66	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:12	4351.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:12	4352.001	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:12	4352.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:12	4353.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:12	4353.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:12	4354.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:12	4354.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:12	4355.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:12	4355.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:12	4356.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:12	4356.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:12	4357.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:12	4357.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:12	4358.001	10.69	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:12	4358.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:12	4359.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:12	4359.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:12	4360.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:12	4360.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:12	4361.001	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:12	4361.501	11.01	0.84	0.91	0.88
27-10-2014 14:12	4362.001	10.95	0.78	0.85	0.82
27-10-2014 14:12	4362.501	10.90	0.73	0.80	0.77
27-10-2014 14:12	4363.001	10.90	0.73	0.80	0.77
27-10-2014 14:12	4363.501	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:12	4364.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:12	4364.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:12	4365.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:12	4365.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:12	4366.001	10.74	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:12	4366.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:12	4367.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:12	4367.501	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:12	4368.001	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:12	4368.501	10.50	0.33	0.40	0.37
27-10-2014 14:12	4369.001	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:12	4369.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:12	4370.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:12	4370.501	10.73	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:12	4371.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:12	4371.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:12	4372.001	10.82	0.65	0.72	0.69

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:12	4372.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:12	4373.001	10.77	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:12	4373.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:12	4374.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:12	4374.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:12	4375.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:12	4375.501	10.94	0.77	0.84	0.81
27-10-2014 14:12	4376.001	11.00	0.83	0.90	0.87
27-10-2014 14:12	4376.501	11.00	0.83	0.90	0.87
27-10-2014 14:12	4377.001	10.99	0.82	0.89	0.86
27-10-2014 14:12	4377.501	10.98	0.81	0.88	0.85
27-10-2014 14:12	4378.001	10.95	0.78	0.85	0.82
27-10-2014 14:12	4378.501	10.89	0.72	0.79	0.76
27-10-2014 14:12	4379.001	10.81	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:12	4379.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:13	4380.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:13	4380.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:13	4381.001	10.66	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:13	4381.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:13	4382.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:13	4382.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:13	4383.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:13	4383.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:13	4384.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:13	4384.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:13	4385.001	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:13	4385.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:13	4386.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:13	4386.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:13	4387.001	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:13	4387.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:13	4388.001	10.78	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:13	4388.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:13	4389.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:13	4389.501	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:13	4390.001	10.91	0.74	0.81	0.78
27-10-2014 14:13	4390.501	10.92	0.75	0.82	0.79
27-10-2014 14:13	4391.001	10.96	0.79	0.86	0.83
27-10-2014 14:13	4391.501	11.00	0.83	0.90	0.87
27-10-2014 14:13	4392.001	10.95	0.78	0.85	0.82
27-10-2014 14:13	4392.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:13	4393.001	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:13	4393.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:13	4394.001	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:13	4394.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:13	4395.001	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:13	4395.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:13	4396.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:13	4396.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:13	4397.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:13	4397.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:13	4398.001	10.69	0.52	0.59	0.56

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:13	4398.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:13	4399.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:13	4399.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:13	4400.001	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:13	4400.501	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:13	4401.001	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:13	4401.501	10.55	0.37	0.44	0.41
27-10-2014 14:13	4402.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:13	4402.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:13	4403.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:13	4403.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:13	4404.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:13	4404.501	10.75	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:13	4405.001	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:13	4405.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:13	4406.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:13	4406.501	10.90	0.73	0.80	0.77
27-10-2014 14:13	4407.001	10.96	0.79	0.86	0.83
27-10-2014 14:13	4407.501	10.96	0.79	0.86	0.83
27-10-2014 14:13	4408.001	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:13	4408.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:13	4409.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:13	4409.501	10.74	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:13	4410.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:13	4410.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:13	4411.001	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:13	4411.501	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:13	4412.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:13	4412.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:13	4413.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:13	4413.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:13	4414.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:13	4414.501	10.74	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:13	4415.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:13	4415.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:13	4416.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:13	4416.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:13	4417.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:13	4417.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:13	4418.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:13	4418.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:13	4419.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:13	4419.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:13	4420.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:13	4420.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:13	4421.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:13	4421.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:13	4422.001	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:13	4422.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:13	4423.001	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:13	4423.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:13	4424.001	10.86	0.68	0.75	0.72

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:13	4424.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:13	4425.001	10.94	0.76	0.83	0.80
27-10-2014 14:13	4425.501	10.92	0.74	0.81	0.78
27-10-2014 14:13	4426.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:13	4426.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:13	4427.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:13	4427.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:13	4428.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:13	4428.501	10.89	0.72	0.79	0.76
27-10-2014 14:13	4429.001	10.99	0.82	0.89	0.86
27-10-2014 14:13	4429.501	10.96	0.79	0.86	0.83
27-10-2014 14:13	4430.001	10.90	0.73	0.80	0.77
27-10-2014 14:13	4430.501	10.91	0.74	0.81	0.78
27-10-2014 14:13	4431.001	10.94	0.77	0.84	0.81
27-10-2014 14:13	4431.501	10.94	0.77	0.84	0.81
27-10-2014 14:13	4432.001	10.84	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:13	4432.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:13	4433.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:13	4433.501	10.71	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:13	4434.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:13	4434.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:13	4435.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:13	4435.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:13	4436.001	10.60	0.43	0.50	0.47
27-10-2014 14:13	4436.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:13	4437.001	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:13	4437.501	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:13	4438.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:13	4438.501	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:13	4439.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:13	4439.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:14	4440.001	10.76	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:14	4440.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:14	4441.001	10.89	0.72	0.79	0.76
27-10-2014 14:14	4441.501	10.97	0.80	0.87	0.84
27-10-2014 14:14	4442.001	10.92	0.75	0.82	0.79
27-10-2014 14:14	4442.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:14	4443.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:14	4443.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:14	4444.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:14	4444.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:14	4445.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:14	4445.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:14	4446.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:14	4446.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:14	4447.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:14	4447.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:14	4448.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:14	4448.501	10.50	0.33	0.40	0.37
27-10-2014 14:14	4449.001	10.46	0.29	0.36	0.33
27-10-2014 14:14	4449.501	10.43	0.26	0.33	0.30
27-10-2014 14:14	4450.001	10.46	0.29	0.36	0.33

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:14	4450.501	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:14	4451.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:14	4451.501	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:14	4452.001	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:14	4452.501	10.77	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:14	4453.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:14	4453.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:14	4454.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:14	4454.501	10.68	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:14	4455.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:14	4455.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:14	4456.001	10.86	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:14	4456.501	10.89	0.72	0.79	0.76
27-10-2014 14:14	4457.001	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:14	4457.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:14	4458.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:14	4458.501	10.82	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:14	4459.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:14	4459.501	10.81	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:14	4460.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:14	4460.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:14	4461.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:14	4461.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:14	4462.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:14	4462.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:14	4463.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:14	4463.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:14	4464.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:14	4464.501	10.64	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:14	4465.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:14	4465.501	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:14	4466.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:14	4466.501	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:14	4467.001	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:14	4467.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:14	4468.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:14	4468.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:14	4469.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:14	4469.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:14	4470.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:14	4470.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:14	4471.001	10.82	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:14	4471.501	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:14	4472.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:14	4472.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:14	4473.001	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:14	4473.501	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:14	4474.001	10.90	0.73	0.80	0.77
27-10-2014 14:14	4474.501	10.92	0.75	0.82	0.79
27-10-2014 14:14	4475.001	10.92	0.75	0.82	0.79
27-10-2014 14:14	4475.501	10.89	0.72	0.79	0.76
27-10-2014 14:14	4476.001	10.87	0.70	0.77	0.74

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:14	4476.501	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:14	4477.001	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:14	4477.501	10.85	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:14	4478.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:14	4478.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:14	4479.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:14	4479.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:14	4480.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:14	4480.501	10.72	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:14	4481.001	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:14	4481.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:14	4482.001	10.63	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:14	4482.501	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:14	4483.001	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:14	4483.501	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:14	4484.001	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:14	4484.501	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:14	4485.001	10.53	0.36	0.43	0.40
27-10-2014 14:14	4485.501	10.48	0.31	0.38	0.35
27-10-2014 14:14	4486.001	10.44	0.27	0.34	0.31
27-10-2014 14:14	4486.501	10.45	0.28	0.35	0.32
27-10-2014 14:14	4487.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:14	4487.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:14	4488.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:14	4488.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:14	4489.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:14	4489.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:14	4490.001	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:14	4490.501	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:14	4491.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:14	4491.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:14	4492.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:14	4492.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:14	4493.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:14	4493.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:14	4494.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:14	4494.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:14	4495.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:14	4495.501	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:14	4496.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:14	4496.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:14	4497.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:14	4497.501	10.61	0.44	0.51	0.48
27-10-2014 14:14	4498.001	10.56	0.39	0.46	0.43
27-10-2014 14:14	4498.501	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:14	4499.001	10.50	0.33	0.40	0.37
27-10-2014 14:14	4499.501	10.48	0.30	0.37	0.34
27-10-2014 14:15	4500.001	10.44	0.27	0.34	0.31
27-10-2014 14:15	4500.501	10.39	0.22	0.29	0.26
27-10-2014 14:15	4501.001	10.37	0.19	0.26	0.23
27-10-2014 14:15	4501.501	10.36	0.19	0.26	0.23
27-10-2014 14:15	4502.001	10.41	0.24	0.31	0.28

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:15	4502.501	10.51	0.34	0.41	0.38
27-10-2014 14:15	4503.001	10.48	0.31	0.38	0.35
27-10-2014 14:15	4503.501	10.39	0.22	0.29	0.26
27-10-2014 14:15	4504.001	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:15	4504.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:15	4505.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:15	4505.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:15	4506.001	10.91	0.74	0.81	0.78
27-10-2014 14:15	4506.501	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:15	4507.001	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:15	4507.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:15	4508.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:15	4508.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:15	4509.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:15	4509.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:15	4510.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:15	4510.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:15	4511.001	10.58	0.41	0.48	0.45
27-10-2014 14:15	4511.501	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:15	4512.001	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:15	4512.501	10.49	0.31	0.38	0.35
27-10-2014 14:15	4513.001	10.48	0.31	0.38	0.35
27-10-2014 14:15	4513.501	10.49	0.32	0.39	0.36
27-10-2014 14:15	4514.001	10.49	0.32	0.39	0.36
27-10-2014 14:15	4514.501	10.48	0.31	0.38	0.35
27-10-2014 14:15	4515.001	10.46	0.29	0.36	0.33
27-10-2014 14:15	4515.501	10.43	0.26	0.33	0.30
27-10-2014 14:15	4516.001	10.40	0.23	0.30	0.27
27-10-2014 14:15	4516.501	10.40	0.23	0.30	0.27
27-10-2014 14:15	4517.001	10.52	0.35	0.42	0.39
27-10-2014 14:15	4517.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:15	4518.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:15	4518.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:15	4519.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:15	4519.501	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:15	4520.001	10.89	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:15	4520.501	10.91	0.73	0.80	0.77
27-10-2014 14:15	4521.001	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:15	4521.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:15	4522.001	10.92	0.75	0.82	0.79
27-10-2014 14:15	4522.501	10.92	0.75	0.82	0.79
27-10-2014 14:15	4523.001	10.90	0.73	0.80	0.77
27-10-2014 14:15	4523.501	10.91	0.74	0.81	0.78
27-10-2014 14:15	4524.001	10.89	0.72	0.79	0.76
27-10-2014 14:15	4524.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:15	4525.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:15	4525.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:15	4526.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:15	4526.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:15	4527.001	10.62	0.45	0.52	0.49
27-10-2014 14:15	4527.501	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:15	4528.001	10.71	0.54	0.61	0.58

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:15	4528.501	10.73	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:15	4529.001	10.76	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:15	4529.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:15	4530.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:15	4530.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:15	4531.001	10.79	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:15	4531.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:15	4532.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:15	4532.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:15	4533.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:15	4533.501	10.73	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:15	4534.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:15	4534.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:15	4535.001	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:15	4535.501	10.90	0.73	0.80	0.77
27-10-2014 14:15	4536.001	10.96	0.79	0.86	0.83
27-10-2014 14:15	4536.501	10.95	0.78	0.85	0.82
27-10-2014 14:15	4537.001	10.89	0.72	0.79	0.76
27-10-2014 14:15	4537.501	10.94	0.77	0.84	0.81
27-10-2014 14:15	4538.001	10.99	0.82	0.89	0.86
27-10-2014 14:15	4538.501	10.92	0.75	0.82	0.79
27-10-2014 14:15	4539.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:15	4539.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:15	4540.001	10.83	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:15	4540.501	10.90	0.73	0.80	0.77
27-10-2014 14:15	4541.001	11.02	0.85	0.92	0.89
27-10-2014 14:15	4541.501	11.05	0.88	0.95	0.92
27-10-2014 14:15	4542.001	10.99	0.82	0.89	0.86
27-10-2014 14:15	4542.501	10.97	0.80	0.87	0.84
27-10-2014 14:15	4543.001	10.98	0.81	0.88	0.85
27-10-2014 14:15	4543.501	10.92	0.75	0.82	0.79
27-10-2014 14:15	4544.001	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:15	4544.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:15	4545.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:15	4545.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:15	4546.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:15	4546.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:15	4547.001	10.79	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:15	4547.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:15	4548.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:15	4548.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:15	4549.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:15	4549.501	10.77	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:15	4550.001	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:15	4550.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:15	4551.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:15	4551.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:15	4552.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:15	4552.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:15	4553.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:15	4553.501	10.96	0.79	0.86	0.83
27-10-2014 14:15	4554.001	11.06	0.89	0.96	0.93

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:15	4554.501	11.00	0.83	0.90	0.87
27-10-2014 14:15	4555.001	10.95	0.78	0.85	0.82
27-10-2014 14:15	4555.501	11.01	0.83	0.90	0.87
27-10-2014 14:15	4556.001	11.08	0.91	0.98	0.95
27-10-2014 14:15	4556.501	11.12	0.95	1.02	0.99
27-10-2014 14:15	4557.001	11.08	0.91	0.98	0.95
27-10-2014 14:15	4557.501	11.03	0.86	0.93	0.90
27-10-2014 14:15	4558.001	10.96	0.79	0.86	0.83
27-10-2014 14:15	4558.501	10.88	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:15	4559.001	10.85	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:15	4559.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:16	4560.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:16	4560.501	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:16	4561.001	10.74	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:16	4561.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:16	4562.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:16	4562.501	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:16	4563.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:16	4563.501	10.76	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:16	4564.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:16	4564.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:16	4565.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:16	4565.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:16	4566.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:16	4566.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:16	4567.001	10.65	0.48	0.55	0.52
27-10-2014 14:16	4567.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:16	4568.001	10.59	0.42	0.49	0.46
27-10-2014 14:16	4568.501	10.55	0.38	0.45	0.42
27-10-2014 14:16	4569.001	10.57	0.40	0.47	0.44
27-10-2014 14:16	4569.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:16	4570.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:16	4570.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:16	4571.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:16	4571.501	10.66	0.49	0.56	0.53
27-10-2014 14:16	4572.001	10.64	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:16	4572.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:16	4573.001	10.94	0.77	0.84	0.81
27-10-2014 14:16	4573.501	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:16	4574.001	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:16	4574.501	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:16	4575.001	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:16	4575.501	10.82	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:16	4576.001	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:16	4576.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:16	4577.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:16	4577.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:16	4578.001	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:16	4578.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:16	4579.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:16	4579.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:16	4580.001	10.71	0.54	0.61	0.58

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:16	4580.501	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:16	4581.001	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:16	4581.501	10.63	0.46	0.53	0.50
27-10-2014 14:16	4582.001	10.64	0.47	0.54	0.51
27-10-2014 14:16	4582.501	10.67	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:16	4583.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:16	4583.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:16	4584.001	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:16	4584.501	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:16	4585.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:16	4585.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:16	4586.001	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:16	4586.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:16	4587.001	10.89	0.72	0.79	0.76
27-10-2014 14:16	4587.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:16	4588.001	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:16	4588.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:16	4589.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:16	4589.501	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:16	4590.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:16	4590.501	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:16	4591.001	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:16	4591.501	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:16	4592.001	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:16	4592.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:16	4593.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:16	4593.501	10.86	0.69	0.76	0.73
27-10-2014 14:16	4594.001	10.90	0.73	0.80	0.77
27-10-2014 14:16	4594.501	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:16	4595.001	10.75	0.58	0.65	0.62
27-10-2014 14:16	4595.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:16	4596.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:16	4596.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:16	4597.001	10.76	0.59	0.66	0.63
27-10-2014 14:16	4597.501	10.78	0.61	0.68	0.65
27-10-2014 14:16	4598.001	10.81	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:16	4598.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:16	4599.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:16	4599.501	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:16	4600.001	10.80	0.63	0.70	0.67
27-10-2014 14:16	4600.501	10.81	0.64	0.71	0.68
27-10-2014 14:16	4601.001	10.83	0.66	0.73	0.70
27-10-2014 14:16	4601.501	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:16	4602.001	10.82	0.65	0.72	0.69
27-10-2014 14:16	4602.501	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:16	4603.001	10.68	0.51	0.58	0.55
27-10-2014 14:16	4603.501	10.68	0.50	0.57	0.54
27-10-2014 14:16	4604.001	10.69	0.52	0.59	0.56
27-10-2014 14:16	4604.501	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:16	4605.001	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:16	4605.501	10.73	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:16	4606.001	10.71	0.54	0.61	0.58

Anexo B – Registos do transdutor

27-10-2014 14:16	4606.501	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:16	4607.001	10.96	0.79	0.86	0.83
27-10-2014 14:16	4607.501	10.93	0.76	0.83	0.80
27-10-2014 14:16	4608.001	10.88	0.71	0.78	0.75
27-10-2014 14:16	4608.501	10.86	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:16	4609.001	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:16	4609.501	10.85	0.68	0.75	0.72
27-10-2014 14:16	4610.001	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:16	4610.501	10.96	0.79	0.86	0.83
27-10-2014 14:16	4611.001	10.95	0.78	0.85	0.82
27-10-2014 14:16	4611.501	10.91	0.74	0.81	0.78
27-10-2014 14:16	4612.001	10.92	0.75	0.82	0.79
27-10-2014 14:16	4612.501	10.89	0.72	0.79	0.76
27-10-2014 14:16	4613.001	10.88	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:16	4613.501	10.87	0.70	0.77	0.74
27-10-2014 14:16	4614.001	10.84	0.67	0.74	0.71
27-10-2014 14:16	4614.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:16	4615.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:16	4615.501	10.79	0.62	0.69	0.66
27-10-2014 14:16	4616.001	10.77	0.60	0.67	0.64
27-10-2014 14:16	4616.501	10.72	0.55	0.62	0.59
27-10-2014 14:16	4617.001	10.71	0.54	0.61	0.58
27-10-2014 14:16	4617.501	10.70	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:16	4618.001	10.71	0.53	0.60	0.57
27-10-2014 14:16	4618.501	10.73	0.56	0.63	0.60
27-10-2014 14:16	4619.001	10.74	0.57	0.64	0.61
27-10-2014 14:16	4619.501	10.76	0.59	0.66	0.63

Anexo C – Caracterização sedimentológica da praia da Cruz Quebrada

Tabela C. 1 – Referências da granulometria realizada à amostra da berma da praia da Cruz Quebrada.

Refª da amostra:	Face de Praia
Local da recolha:	Cruz Quebrada
Tara do copo (g)	87.37
Copo + amostra (g)	157.03
Peso inicial (g)	69.66
Peso final (g)	69.77
ERRO (%)	0.16

Tabela C. 2 – Valores da granulometria realizada à amostra da berma da praia da Cruz Quebrada.

Dimensão da malha (mm)	Dimensão da malha (m)	Escala (ϕ)	Peso do resíduo (g)	Frequência simples (%)	Frequência acumulada (%)
63	63000	-6			
45	45000	-5.5			
31.5	31500	-5			
22.4	22400	-4.5			
16	16000	-4			
11.2	11200	-3.5			
8	8000	-3			
5.6	5600	-2.5			
4	4000	-2	0	0	0
2.8	2800	-1.5	0	0	0
2	2000	-1	0	0	0
1.4	1400	-0.5	0.01	0.014	0.014
1	1000	0	0.03	0.043	0.057
0.71	710	0.5	0.06	0.086	0.143
0.5	500	1	0.39	0.559	0.702
0.355	355	1.5	2.96	4.243	4.945
0.25	250	2	13.72	19.665	24.609
0.18	180	2.5	31.36	44.948	69.557
0.125	125	3	19.14	27.433	96.990
0.09	90	3.5	1.87	2.680	99.670
0.063	63	4	0.22	0.315	99.986
		4.5	0.01	0.014	100.000
		TOTAL	69.77		

Anexo D – Procedimento para a projecção em *Excel* de imagens em *ArcGIS*

Para se poder efectuar a projecção em *Excel* de cada ponto de intersecção entre o perfil realizado no campo e as cristas e cavas das respectivas medições fotográficas, foi necessário convertê-los através da ferramenta *Convert Graphics to Features* (*Drawing* → *Convert Graphics to Features*) como mostra na Figura D. 1.

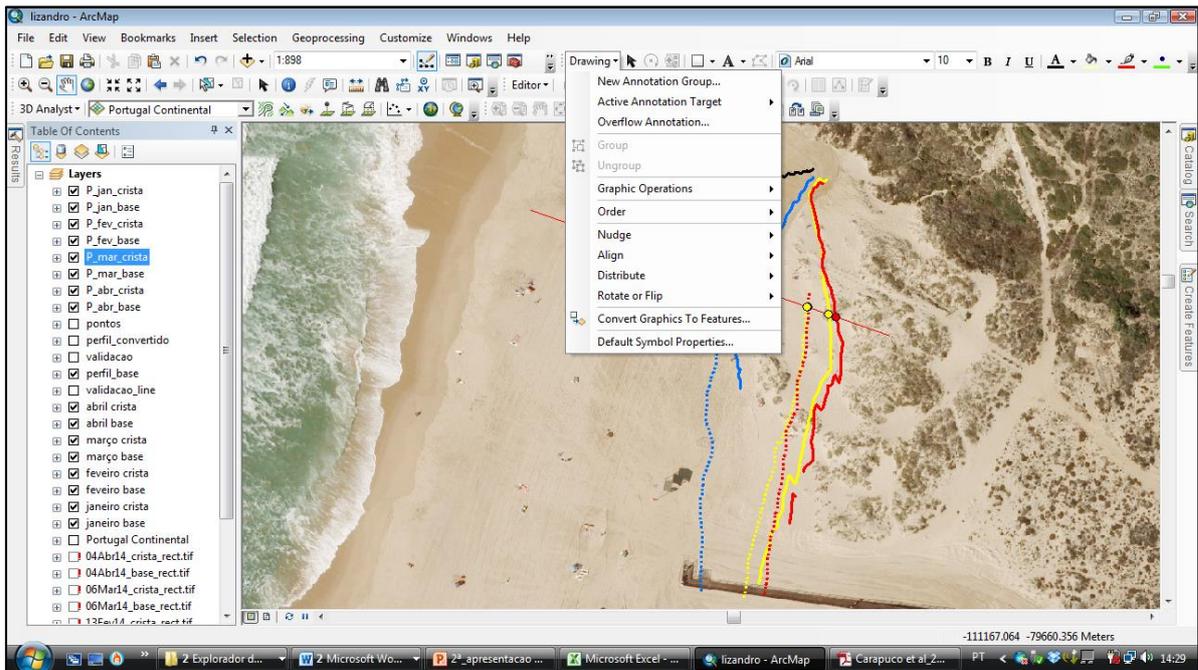


Figura D. 1 – Visualização dos passos para a conversão dos pontos de intersecção.

Para cada um dos pontos criados procedeu-se do mesmo modo (Figura D. 2). No final para cada novo ponto criado abriu-se a tabela de atributos na qual se criou um novo campo (do tipo double) denominado x, neste procedeu-se ao cálculo do valor de x através do calculate geometry (Figura D. 3).

Anexo D – Procedimento para a projecção em Excel de imagens em ArcGIS

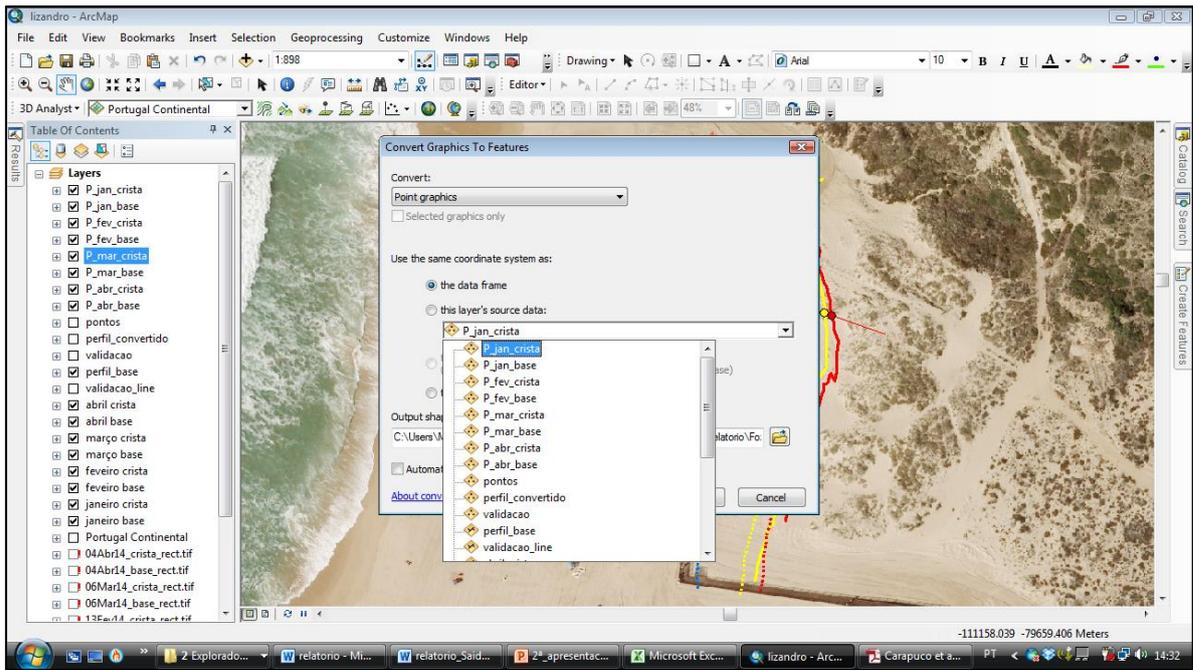


Figura D. 2 – Conversão do ponto de intersecção entre o perfil base e a delimitação da crista da duna para o mês de Janeiro.

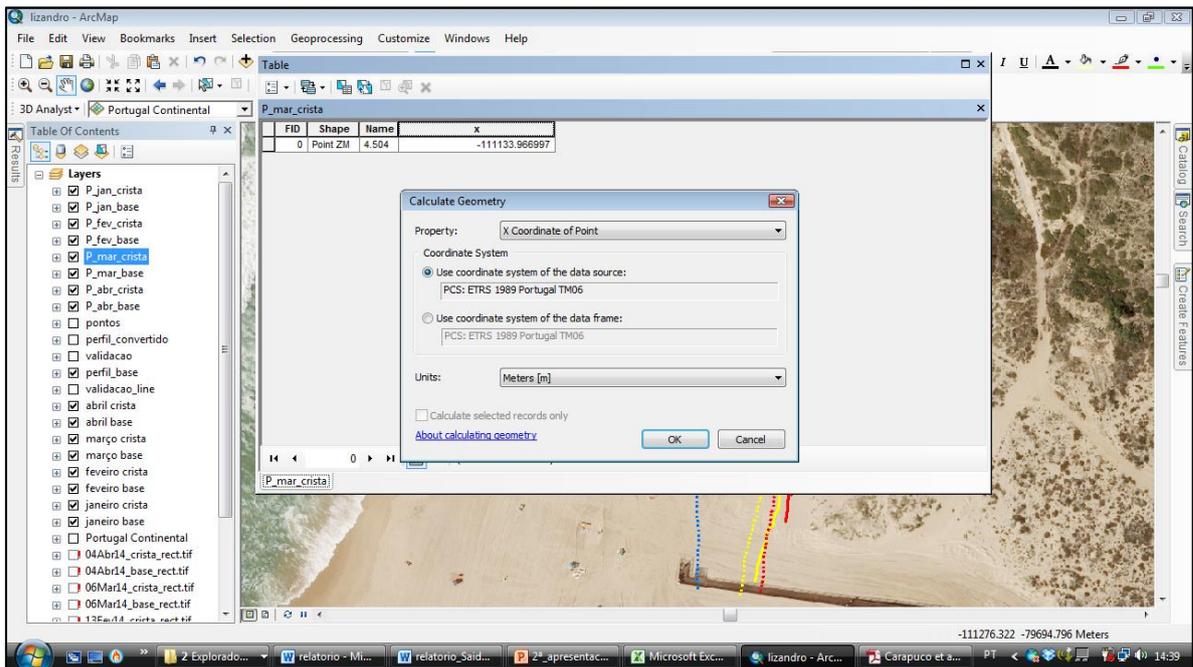


Figura D. 3 – Cálculo do valor de x para o ponto de intersecção entre o perfil base com a delimitação da crista da duna para o mês de Março.