



**Avaliação do Risco de Galgamento
de Estruturas Portuárias**
O caso do Porto de Ponta Delgada
(Açores, Portugal)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Débora Marisa Freitas Pereira
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

setembro | 2013

UMa

Ava

Avaliação do Risco de Galgamento de Estruturas Portuárias

O caso do Porto de Ponta Delgada
(Açores, Portugal)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Débora Marisa Freitas Pereira

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTADOR

Luiz Carlos Guerreiro Lopes

CO-ORIENTADOR

Maria Teresa Leal Gonsalves Veloso dos Reis



**AVALIAÇÃO DO RISCO DE GALGAMENTO DE
ESTRUTURAS PORTUÁRIAS: O CASO DO PORTO
DE PONTA DELGADA (AÇORES, PORTUGAL)**

Débora Marisa Freitas Pereira
(Licenciada em Engenharia Civil)

Orientador:
Prof. Doutor Luiz Carlos Guerreiro Lopes

Co-orientadora:
Doutora Maria Teresa Leal Gonsalves Veloso dos Reis

Dissertação apresentada à Universidade da Madeira para cumprimento
dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil

Funchal, setembro de 2013

Agradecimentos

Não poderia terminar este estudo sem agradecer a algumas pessoas que, com muita paciência e dedicação, ajudaram-me a concretizá-lo com sucesso. Antes de mais, queria agradecer à minha família, mais concretamente aos meus pais e ao meu irmão, que estiveram sempre comigo e sempre me apoiaram, quer na escolha deste tema, que me levaria a ter que sair da ilha e me aventurar um pouco, quer na motivação para a escrita desta dissertação. Incentivaram-me também a fazer um estágio, com o objetivo de obtenção de dados, no Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, onde fui muito bem recebida. Assim, quero agradecer à Doutora Eng^a Teresa Reis, à Doutora Eng^a Juana Fortes, ao Engenheiro Gabriel Silva e ao Desenhador Fernando Barreto por toda a ajuda e disponibilidade. Também quero agradecer aos meus colegas Pedro Poseiro, Rui Reis e Patrícia Neves por toda a ajuda prestada e pela forma como me receberam e integraram naquela instituição.

Gostaria de agradecer ao Prof. Doutor Luiz Guerreiro Lopes, do Centro de Ciências Exatas e da Engenharia da Universidade da Madeira, por toda a ajuda e disponibilidade como orientador.

Um grande agradecimento às empresas Portos dos Açores, Azorina e Consulmar – Projectistas e Consultores, Lda., pela pronta disponibilidade no fornecimento da informação necessária para o desenvolvimento deste estudo, nomeadamente ao Engenheiro Pedro Silva e ao Topógrafo-Geómetra Gonçalo Azevedo, dos Portos dos Açores, à Engenheira Conceição Rodrigues, da Azorina, e à Engenheira Lucília Luís, da Consulmar.

Ao Engenheiro David Silva, pela disponibilidade prestada e pelo fornecimento de dados imprescindíveis para a concretização desta dissertação.

A todos os meus amigos, colegas e ao treinador da equipa de natação, que me apoiaram e me proporcionaram momentos de boa disposição.

Resumo

Avaliação do Risco de Galgamento de Estruturas Portuárias:

O Caso do Porto de Ponta Delgada (Açores, Portugal)

A análise do galgamento de estruturas portuárias não só é importante para a avaliação da segurança de bens, pessoas e equipamentos e das atividades junto a elas desenvolvidas, como também a nível económico e financeiro.

A finalidade deste trabalho é a aplicação da metodologia desenvolvida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) para a avaliação do risco de galgamento de estruturas portuárias ao Porto de Ponta Delgada, Açores, num período de dois anos (2011 e 2012), para cinco secções nele enquadradas.

A metodologia desenvolvida ao longo deste trabalho apresenta como componentes essenciais a caracterização da agitação marítima a que estão sujeitas as secções em estudo e o cálculo do caudal médio de galgamento por metro linear de estrutura. Estas duas variáveis, inicialmente estudadas e indispensáveis neste trabalho, são obtidas com base em dados de agitação marítima em águas profundas fornecidas pelo modelo regional de previsão de agitação WAVEWATCH III, que, acoplado ao modelo espectral SWAN e ao modelo de declive suave DREAMS, permite a obtenção da agitação marítima incidente na entrada do porto e no seu interior, respetivamente. Os resultados do modelo SWAN são validados mediante uma comparação com dados medidos *in situ* pela boia ondógrafo localizada ao largo da zona em estudo. Os parâmetros de agitação marítima obtidos para as cinco secções em análise permitem determinar o caudal médio de galgamento, com recurso à ferramenta NN_OVERTOPPING, baseada em redes neuronais.

Em seguida, como resultado da combinação entre os valores de probabilidades e de consequências associadas, quando ultrapassado um determinado caudal médio de galgamento admissível anteriormente estabelecido para cada zona em estudo, é obtido um grau de risco de galgamento para cada zona analisada, o que permite criar um mapa de risco que servirá de informação para o planeamento de operações e de futuras intervenções nessa envolvente.

Palavras-chave: Avaliação de risco; Galgamentos de estruturas portuárias; Agitação marítima; Simulação numérica; Porto de Ponta Delgada.

Abstract

*Risk Assessment of Wave Overtopping of Harbour Structures:
The Case of Ponta Delgada's Harbour (Azores, Portugal)*

The analysis of wave overtopping of harbour structures is not only important for the safety assessment of goods, people and equipment, as well as the activities developed in their surroundings, but also for the economic and financial points of view.

The purpose of this work is the application to Ponta Delgada's harbour, Azores, of the methodology developed by the National Laboratory of Civil Engineering (LNEC) for assessing the risk of overtopping of harbour structures, for a two-year period (2011 and 2012), for five cross-sections of the harbour structures.

The methodology developed within this work is based on two main components: the sea-wave characterization at the studied sections, and the calculation of the corresponding mean overtopping discharges per meter length of structure. These two components, initially studied and fundamental for this work, are based on wave data supplied for deep water conditions by the regional wave model WAVEWATCH III, which coupled to the spectral model SWAN and the mild-slope model DREAMS, allow the characterization of the sea wave conditions at the entrance and inside the harbour, respectively. The SWAN results are validated by comparison with *in situ* data measured by the wave buoy located offshore the studied area. The wave conditions obtained for the five cross-sections analysed allow the determination of the corresponding mean overtopping discharges using the NN_OVERTOPPING tool, based on neural network analysis.

Subsequently, by combining the levels of probability and associated consequences of the exceedance of an allowable mean overtopping discharge previously established for each zone under study, a level of risk is obtained for each zone, which enables the development of a risk map that will provide information for planning of operations and future interventions in this specific environment.

Keywords: Risk assessment; Overtopping of harbour structures; Wave climate; Numerical simulation; Ponta Delgada's harbour.

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Índice de Figuras	xv
Índice de Quadros	xix
Lista de símbolos	xxi
Lista de abreviaturas	xxiii
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	6
Capítulo 2	7
Caraterização do fenómeno de galgamento	7
2.1 Introdução	7
2.2 Fatores condicionantes	9
2.2.1 Agitação marítima	9
2.2.1.1 Modelação da agitação marítima	12
2.2.2 Nível do mar	18
2.2.3 Geometria da estrutura.....	18

2.3 Metodologia de cálculo do galgamento.....	21
2.3.1 Introdução.....	21
2.3.2 Fórmulas empíricas e semi-empíricas	22
2.3.3 Modelos físicos	22
2.3.4 Modelos numéricos	23
2.3.5 Redes neuronais artificiais	24
2.4 Valores admissíveis de galgamento.....	28
Capítulo 3	31
Avaliação do risco associado ao galgamento e criação de mapas de risco.....	31
3.1 Introdução	31
3.2 Metodologia de avaliação qualitativa do risco	32
Capítulo 4	37
Caso de estudo	37
4.1 Introdução	37
4.2 Caraterização geral do local	37
4.2.1 Caraterização das estruturas marítimas	42
4.3 Dados utilizados	46
4.3.1 Dados do WWIII.....	46
4.3.2 Dados de maré.....	46
4.3.3 Dados da boia ondógrafo.....	47
4.3.4 Geometria das secções	51
4.4 Agitação marítima	57
4.4.1 Modelo SWAN	58
4.4.1.1 Condições de aplicação do modelo e domínio de cálculo.....	58
4.4.1.2 Comparação dos resultados do modelo SWAN com os dados <i>in situ</i>	61
4.4.1.3 Resultados do modelo SWAN para a zona exterior do porto	64
4.4.2 Modelo DREAMS.....	66
4.4.2.1 Condições de aplicação do modelo e domínio de cálculo.....	66

4.4.2.2	Resultados e análise do caso em estudo	71
4.4.3	Comparação dos resultados dos vários modelos aplicados.....	74
4.5	Caudal médio galgado.....	76
4.5.1	Ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING.....	76
4.5.1.1	Condições de aplicação.....	76
4.5.2	Resultados e análise dos casos em estudo.....	79
4.6	Avaliação do risco de galgamento.....	82
4.6.1	Valores admissíveis.....	82
4.6.2	Probabilidade de ocorrência.....	86
4.6.3	Consequências de ocorrência.....	87
4.6.4	Grau de risco	88
4.6.5	Mapa de risco.....	89
Capítulo 5	91
Conclusões e considerações finais	91
5.1	Principais resultados.....	91
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	94
Referências bibliográficas	95
Anexos	101

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Fenómeno de galgamento no Porto de Ponta Delgada, Açores	8
Figura 2.2 – Caracterização da agitação marítima	11
Figura 2.3 – Constituição do perfil de um quebramar de talude	19
Figura 2.4 – Representação de alguns parâmetros que descrevem a geometria da estrutura	20
Figura 2.5 – Modelo físico da cabeça do quebramar de proteção da marina de Ponta Delgada, São Miguel, Açores	23
Figura 2.6 – Modelo físico do terminal de passageiros e piscina natural do Porto de Ponta Delgada, São Miguel, Açores	23
Figura 2.7 – Parâmetros das redes neuronais na ferramenta NN_OVERTOPPING	25
Figura 2.8 – Parâmetros de entrada na ferramenta NN_OVERTOPPING	25
Figura 4.1 – Localização das ilhas do Arquipélago dos Açores	38
Figura 4.2 – Identificação das diferentes zonas no Porto de Ponta Delgada	39
Figura 4.3 – Porto de pesca	39
Figura 4.5 – Avenida marginal	40
Figura 4.4 – Forte de S. Brás	40
Figura 4.6 – Complexo multifuncional Portas do Mar	41
Figura 4.7 – Localização dos pontos D1 e D2 no molhe do cais comercial	43
Figura 4.8 – Localização do ponto D3 na Piscina natural	44
Figura 4.9 – Localização do ponto D4 no complexo Portas do Mar	44
Figura 4.10 – Localização do ponto D5 no molhe da marina Pêro de Teive	45

Figura 4.11 – Localização do ponto introduzido no WWII	46
Figura 4.12 – Variação da maré nos dois anos considerados com o acréscimo de 0,40 m relativo à sobrelevação meteorológica.....	47
Figura 4.13 – a) Boia ondógrafo e b) dados adquiridos pela mesma em 22-03-2012	48
Figura 4.14 – Localização da boia ondógrafo “Bond 2”	49
Figura 4.15 – Dados da boia referentes à altura significativa H_s	50
Figura 4.16 – Dados da boia referentes ao período de pico T_p	50
Figura 4.17 – Dados da boia referentes à direção θ_m	51
Figura 4.18 – a) Molhe do cais comercial no ponto D1 e b) respetiva secção transversal.....	52
Figura 4.19 – a) Molhe do cais comercial no ponto D2 e b) respetiva secção transversal.....	53
Figura 4.20 – a) Piscina natural e b) respetiva secção transversal.	54
Figura 4.21 – a) Terminal de cruzeiros e b) respetivo perfil transversal.....	55
Figura 4.22 – a) Molhe da marina nascente e b) respetivo perfil transversal	56
Figura 4.23 – Esquematização da gama dos modelos numéricos e metodologia da transferência do regime de agitação marítima do largo para o interior do porto. ..	57
Figura 4.24 – Batimetria da ilha de S. Miguel, Açores	59
Figura 4.25 – Limitação das malhas utilizadas no modelo SWAN.....	59
Figura 4.26 – Localização dos pontos P1 e P2	61
Figura 4.27 – Comparação dos resultados obtidos pelo modelo SWAN para a altura significativa H_s com as medições da boia.	62
Figura 4.28 – Comparação dos resultados obtidos pelo modelo SWAN para o período de pico T_p com as medições da boia.	62
Figura 4.29 – Comparação dos resultados obtidos pelo modelo SWAN para a direção média θ com as medições da boia ondógrafo.	63
Figura 4.30 – Série temporal da altura significativa obtida pelo modelo SWAN para o ponto P2.....	64

Figura 4.31 – Série temporal do período de pico obtido pelo modelo SWAN para o ponto P2.	65
Figura 4.32 – Direção média obtida pelo modelo SWAN para o ponto P2.	65
Figura 4.33 – Batimetria do Porto de Ponta Delgada utilizada no modelo DREAMS e localização do ponto P2 do modelo SWAN	67
Figura 4.34 – Fronteiras marítimas definidas no modelo DREAMS	68
Figura 4.35 – Divisão da fronteira em diferentes tipos de margens para o cálculo dos coeficientes de reflexão	69
Figura 4.36 – Ilustração da localização dos cinco pontos em estudo onde é feita a caracterização da agitação marítima no modelo DREAMS para posterior análise do galgamento.	70
Figura 4.37 – Resultados do modelo DREAMS para $T_p = 10$ s, nível de maré = +1,50 m (ZH) e direção de onda de: a) 90° , b) 135° e c) $247,5^\circ$	72
Figura 4.38 – Séries temporais da altura significativa dos pontos em análise, obtidas após a aplicação do programa 3D_Interpol.	73
Figura 4.39 – Histograma das direções médias dos pontos em análise, obtidas após a aplicação do programa 3D_Interpol.	74
Figura 4.40 – Série temporal da altura significativa desde o largo (WWIII) até à piscina natural, ponto D3 (SWAN).	75
Figura 4.41 – Série temporal do período de pico desde o largo (WWIII) até ao exterior do porto (SWAN).	76
Figura 4.42 – Exemplo da obtenção de β	79
Figura 4.43 – Série temporal do caudal médio de galgamento para as diversas secções.	80
Figura 4.44 – Séries temporais do galgamento q para os pontos D1 e D2 e reta do valor admissível para navios e equipamentos na zona abrigada da estrutura.	84
Figura 4.45 – Série temporal do galgamento q para o ponto D3 e reta do valor admissível para pessoas.	85
Figura 4.46 – Série temporal do galgamento q para o ponto D4 e respetivas retas dos valores admissíveis adotados.	85

Figura 4.47 – Representação gráfica do grau de risco de galgamento para os dois pontos do molhe do cais comercial, para a piscina natural, para o terminal de cruzeiros e para a marina nascente89

Índice de Quadros

Quadro 1.1 – Metodologia para a avaliação do risco de galgamento no Porto de Ponta Delgada.....	4
Quadro 2.1 – Valores do coeficiente de rugosidade/permeabilidade para diferentes tipos de proteção da estrutura	27
Quadro 2.2 – Valores admissíveis para o caudal médio de galgamento para estruturas marítimas	28
Quadro 2.3 – Valores admissíveis do caudal médio de galgamento para navios e equipamentos na zona abrigada da estrutura	29
Quadro 2.4 – Valores admissíveis do caudal médio de galgamento para pessoas ..	29
Quadro 2.5 – Valores admissíveis do caudal médio de galgamento para circulação de veículos	30
Quadro 3.1 – Probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis e respetivo grau	33
Quadro 3.2 – Consequências associadas a um acontecimento perigoso e respetivo grau.....	34
Quadro 3.3 – Avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido.....	35
Quadro 4.1 – Resumo das características das malhas adotadas no modelo SWAN..	60
Quadro 4.2 – Intervalos dos vários parâmetros da agitação marítima obtidos pelo modelo SWAN.....	66
Quadro 4.3 – Coordenadas dos pontos D1 a D5.....	71
Quadro 4.4 – Dados geométricos do perfil D1 necessários na ferramenta NN_OVERTOPPING para o respetivo nível de maré.....	77

Quadro 4.5 – Dados geométricos do perfil D2 necessários na ferramenta NN_OVERTOPPING para o respetivo nível de maré.....	77
Quadro 4.6 – Dados geométricos do perfil D3 necessários na ferramenta NN_OVERTOPPING para o respetivo nível de maré.....	77
Quadro 4.7 – Dados geométricos do perfil D4 necessários na ferramenta NN_OVERTOPPING parao respetivo nível de maré.....	78
Quadro 4.8 – Dados geométricos do perfil D5 necessários na ferramenta NN_OVERTOPPING para o respetivo nível de maré.....	78
Quadro 4.9 – Ângulo que a estrutura faz com o norte.....	78
Quadro 4.10 – Data/hora em que se obteve galgamento nos vários troços.....	81
Quadro 4.11 – Valores críticos de caudal médio de galgamento.....	84
Quadro 4.12 – Probabilidades de ocorrência de um acontecimento perigoso para as diversas utilizações nas cinco secções em análise.....	86
Quadro 4.13 – Grau de risco para as cinco secções em estudo.....	88

Lista de símbolos

Símbolo	Definição
A_c	Distância entre o nível médio da superfície livre e a cota da berma de coroamento da estrutura
B	Largura da berma da estrutura medida na horizontal
B_t	Largura da banqueteta do pé de talude da estrutura
C	Celeridade de fase da onda
C_g	Celeridade de grupo
c_x	Celeridade segundo o eixo x
c_y	Celeridade segundo o eixo y
c_θ	Velocidade de propagação no espectro na direção θ
c_σ	Velocidade de propagação no espectro na frequência σ
$E(\sigma, \theta)$	Espetro de densidade de energia espectral
g	Aceleração gravítica
G_c	Largura da berma de coroamento da estrutura
h	Profundidade local
H	Altura da onda no ponto considerado
H_0	Altura da onda ao largo
h_b	Profundidade da berma da estrutura
H_{m0}	Altura significativa espectral
H_{max}	Altura máxima das ondas
H_s	Altura significativa da onda
h_t	Profundidade da banqueteta do pé do talude da estrutura
k	Número de onda
L	Comprimento da onda
m_0	Momento espectral de ordem zero
N	Densidade espectral da ação da onda
Q	Caudal médio galgado adimensional
q	Caudal médio galgado por metro linear de estrutura
q_x	Caudal médio de galgamento a x metros da estrutura galgada

R_c	Distância entre o nível médio da superfície livre e a cota de coroamento da parte impermeável da estrutura
s	Declividade da onda
$S_{ds,b}$	Dissipação de energia da onda por atrito do fundo
$S_{ds,br}$	Dissipação de energia da onda por rebentação induzida pela profundidade
$S_{ds,w}$	Dissipação de energia da onda por rebentação parcial (<i>whitecapping</i>)
S_{in}	Crescimento da onda por influência do vento
S_{nl3}	Interações não-lineares entre ondas – tríades
S_{nl4}	Interações não-lineares entre ondas – quádruplas
S_{tot}	Energia total da onda
t	Tempo
$T_{m-1,0}$	Período médio espectral no pé do talude
T_{max}	Período máximo da onda
T_{med}	Período médio da onda
T_p	Período de pico da onda
x	Distância entre a estrutura marítima e o ponto de interesse (entre 5m e 25 m); eixo x
y	Eixo y
α	Inclinação do talude da estrutura
α_b	Ângulo da berma da estrutura com a horizontal
α_d	Ângulo do talude abaixo da berma com a horizontal
α_u	Ângulo do talude acima da berma com a horizontal
β	Ângulo entre a direção da onda incidente e a normal à estrutura
γ_f	Coefficiente de rugosidade/permeabilidade da estrutura
Δ_x	Largura de um elemento da malha segundo o eixo x
Δ_y	Largura de um elemento da malha segundo o eixo y
η	Elevação da superfície livre da água
θ	Direção de propagação da onda
θ_m	Direção média de propagação das ondas
θ_p	Direção de pico do espectro de direções de propagação de ondas
ξ	Número de Iribarren
σ	Frequência relativa
ω	Frequência angular da onda

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Descrição
ASPM	Associação dos Portos das Ilhas de São Miguel e Santa Maria
CLASH	<i>Crest Level Assessment of Coastal Structures by Full Scale Monitoring, Neural Network Prediction and Hazard Analysis on Permissible Wave Overtopping</i>
CLIMAAT	Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos
FCUL	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
GPS	<i>Global Positioning System</i> (sistema de posicionamento global)
IH	Instituto Hidrográfico
JONSWAP	<i>Joint North Sea Wave Project</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NM	Nível médio das águas do mar
NN	<i>Neural Network</i> (rede neuronal)
NOAA/NCEP	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Predictions</i>
NR	Nível de repouso
SWAN	<i>Simulating Waves Nearshore</i>
TOT	Todo o tamanho
TUDeft	<i>Delf University of Technology</i>
WWIII	WAVEWATCH III
ZH	Zero Hidrográfico

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

O fenómeno de galgamento de estruturas portuárias, caracterizado pela passagem de uma massa de água sobre o coroamento das mesmas em decorrência da ação da agitação marítima incidente, tem vindo, nos últimos anos, a ser cada vez mais estudado, devido principalmente às alterações climáticas globais, que levam à subida do nível médio das águas do mar e à maior frequência de ocorrência de fenómenos naturais extremos.

Tal situação é ainda agravada pelo crescente aumento da concentração da população e das atividades económicas nas zonas costeiras e portuárias, que pode pôr em risco a segurança das infraestruturas e das pessoas expostas à severidade e à irregularidade da agitação marítima, a qual poderá provocar danos a equipamentos e estruturas, problemas à navegação e às atividades piscatórias, interrupção da circulação rodoviária e pedonal, inquietação às populações locais e, no extremo, levar à perda de vidas humanas.

Deste modo, torna-se necessário a minimização dos prejuízos económicos e ambientais e do risco de perda de vidas humanas por meio da aplicação de metodologias que possibilitem antever sinais de risco de galgamento em zonas portuárias e costeiras.

Neste sentido, o LNEC tem vindo a desenvolver uma metodologia para a avaliação do risco de ocorrência de galgamentos de estruturas implantadas nessas

regiões, com o objetivo de aprimorar um mecanismo de alerta capaz de indicar às autoridades competentes e às populações afetadas situações em que tal fenómeno possa causar prejuízos e pôr em risco a segurança de bens e pessoas, fornecendo assim apoio ao planeamento e gestão de intervenções que objetivem mitigar o risco de ocorrência dessas situações (Santos *et al.*, 2011).

Perante a ocorrência de tais cenários de galgamento, torna-se imprescindível a utilização dessa metodologia que, em suma, consiste na aplicação de modelos numéricos para a simulação da propagação da agitação marítima do largo para a zona em estudo, bem como no cálculo do caudal médio de galgamento recorrendo ao uso de uma ferramenta baseada na análise de redes neuronais artificiais. Para cada estrutura, são predefinidos os caudais máximos admissíveis, consoante as atividades que lá se desenvolvam, seguindo-se a obtenção do grau de probabilidade de ocorrência de excedência e a identificação das consequências associadas, que, conjuntamente, permitem a determinação do grau de risco e a criação de mapas de risco, de modo a fornecer informações adequadas sobre o risco de galgamento nos locais considerados.

Esta metodologia já foi aplicada com sucesso ao porto e à baía da Praia da Vitória, na ilha Terceira, no arquipélago dos Açores (Neves *et al.*, 2012). Assim, com o intuito de analisar o seu desempenho quando utilizada num porto de maiores dimensões, tal procedimento será aplicado neste trabalho a cinco secções do porto de Ponta Delgada, na ilha de São Miguel, Açores.

Num estudo anterior, Silva (2012) avaliou o galgamento de estruturas portuárias no mesmo porto. No entanto, tal estudo, embora considerando os campos de vento fornecidos pelo modelo MM5 como entrada para o modelo SWAN, não teve em conta a avaliação do risco de galgamento, cobriu um período de apenas um mês, estimou o galgamento em apenas dois pontos e assumiu níveis de maré constantes, com uma sobrelevação de 0,40 m.

1.2 Objetivos

A principal finalidade desta dissertação é avaliar o risco de galgamento em estruturas portuárias localizadas no Porto de Ponta Delgada, Açores, usando a

metodologia anteriormente mencionada, desenvolvida pelo LNEC. Para atingir este objetivo, são tidas em consideração três etapas essenciais, nomeadamente a caracterização da agitação marítima, a determinação do caudal médio de galgamento das estruturas e a respetiva avaliação do risco.

A aplicação da metodologia implementada para a avaliação de risco sumarizado no Quadro 1.1, inicia-se com a utilização da ferramenta WAVEWATCH III, WWIII (Tolman, 1991) para a obtenção da agitação ao largo, que irá servir, juntamente com dados de maré, como entrada para o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999), que permite simular a propagação das ondas até ao porto. A propagação das ondas no interior do porto, a partir dos resultados fornecidos pelo modelo SWAN, é feita com recurso ao modelo DREAMS (Fortes, 1993).

Este último modelo permite a obtenção da agitação marítima (altura, período e direção média das ondas) para cada uma das cinco secções consideradas — duas no molhe do cais comercial, uma na piscina natural, uma no terminal de cruzeiros e uma no molhe da marina nascente —, que foram escolhidas devido à sua localização e às diferentes atividades nelas desenvolvidas.

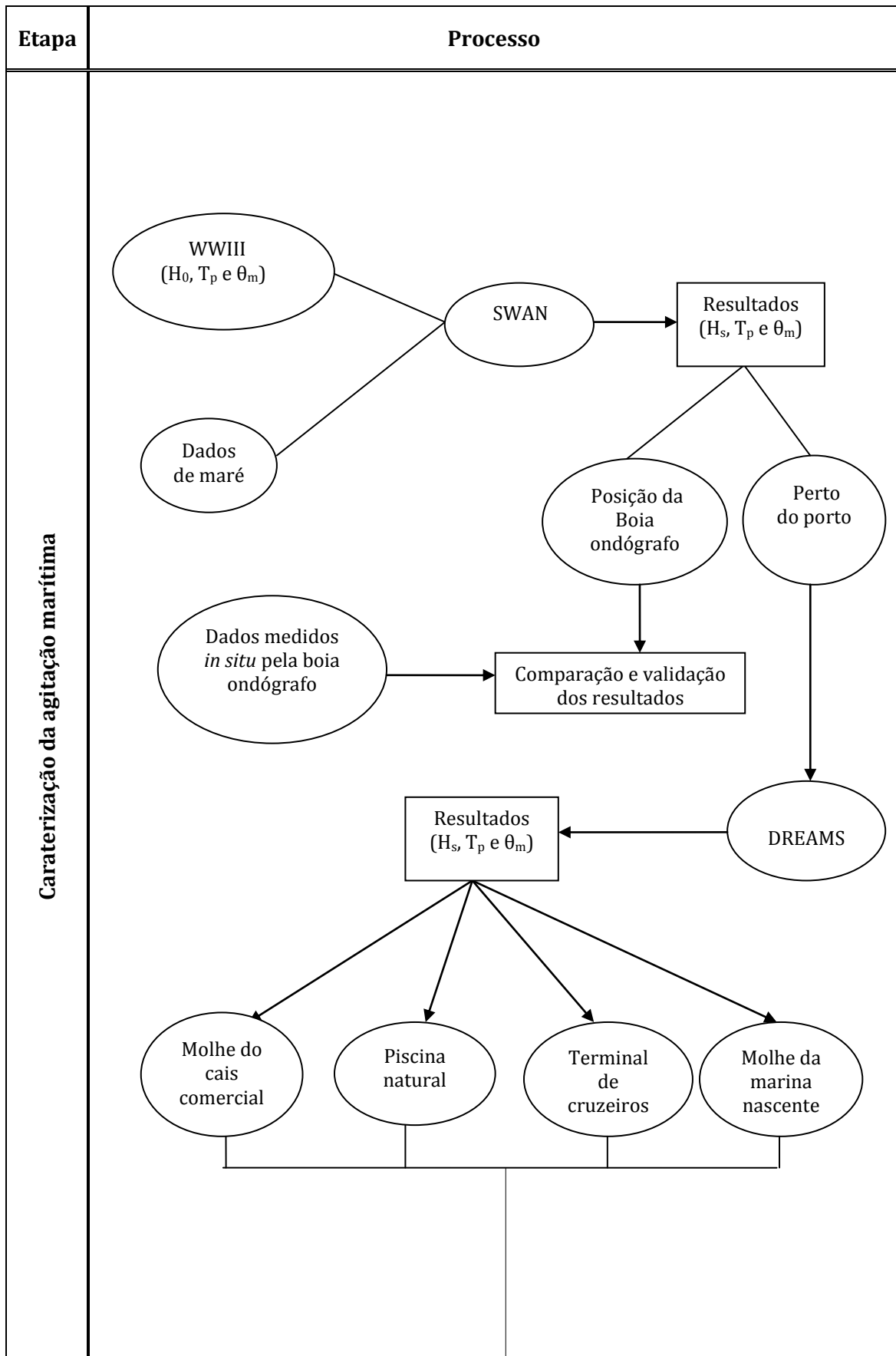
O cálculo do caudal de galgamento por metro linear foi realizado com recurso à ferramenta NN_OVERTOPPING (Coeveld *et al.*, 2005), baseada em redes neuronais artificiais, por meio da introdução dos resultados do modelo DREAMS e da geometria das diferentes estruturas.

Após a limitação do valor máximo admissível de galgamento em função das condicionantes de cada estrutura (Pullen *et al.*, 2007), tendo por base o conhecimento que se tem das mesmas, obtém-se a probabilidade da sua ocorrência e o respetivo grau, de acordo com os intervalos definidos em Neves *et al.* (2012), bem como grau de consequências associado ao fenómeno de galgamento.

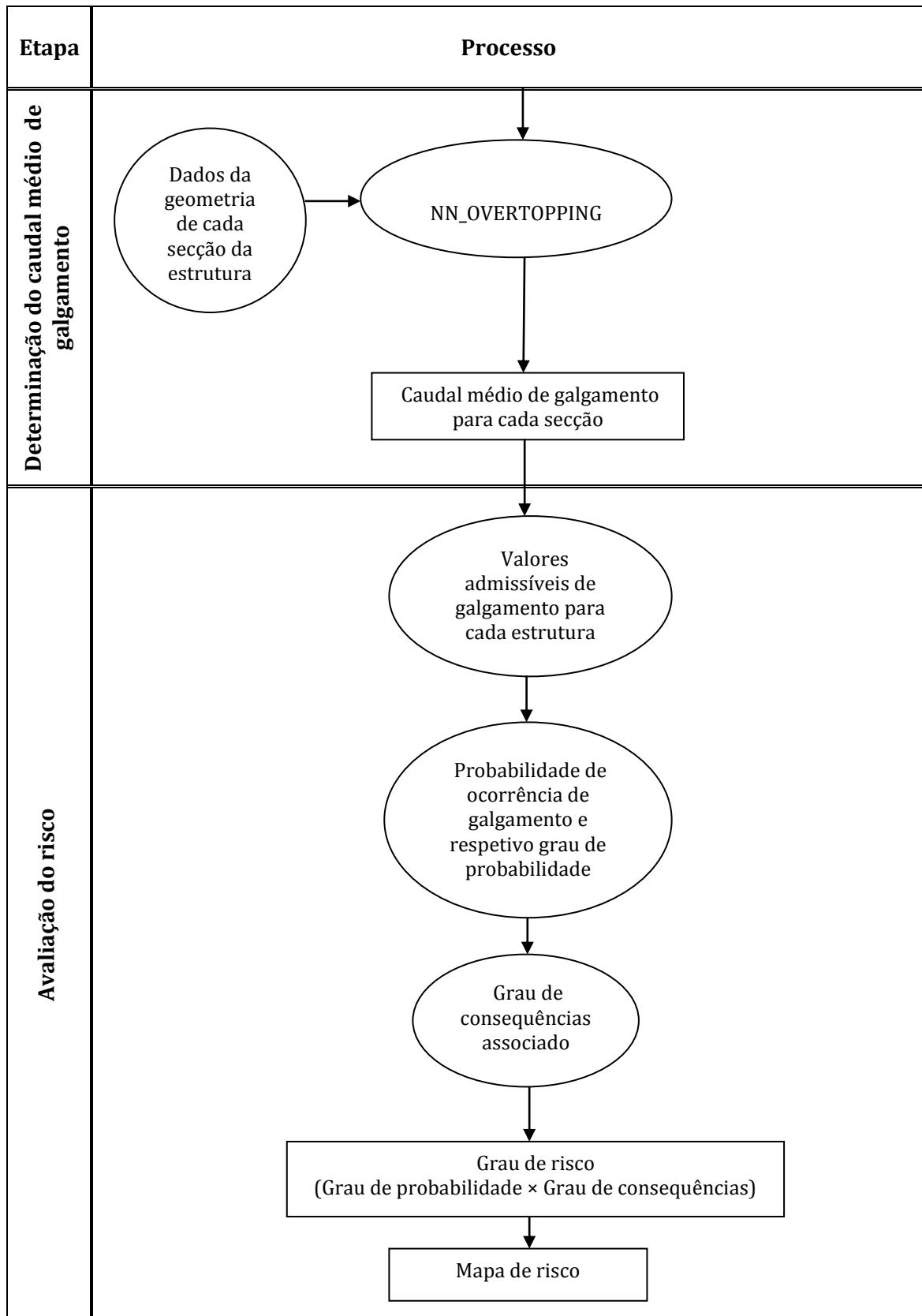
Finalmente, a partir dos graus de risco, determinados a partir dos graus associados à probabilidade de ocorrência de galgamento e às suas consequências, podem ser gerados mapas de risco de galgamento para os locais em estudo.

Tais mapas de risco podem ser de grande utilidade para a emissão de alertas de inundação em zonas portuárias e costeiras, bem como para o planeamento das operações portuárias em situações adversas.

Quadro 1.1 – Metodologia para a avaliação do risco de galgamento no Porto de Ponta Delgada.



Quadro 1.1– Metodologia para a avaliação do risco de galgamento no Porto de Ponta Delgada (cont.).



1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos, cujos conteúdos são aqui sucintamente descritos, contendo ainda 18 anexos, com fotografias, plantas e perfis das estruturas consideradas, cartas náuticas, dados oceanográficos e parte dos resultados obtidos.

Após este capítulo de introdução, a caracterização do fenómeno de galgamento é efetuada no Capítulo 2, onde são enfatizadas as suas principais condicionantes, nomeadamente a agitação marítima, o nível do mar e a geometria da estrutura, bem como as metodologias de cálculo usualmente empregues na sua determinação. Relativamente à agitação marítima, a sua modelação, por meio dos modelos numéricos WAVEWATCH III, SWAN e DREAMS, é descrita sucintamente neste mesmo capítulo. Dá-se ainda particular destaque à identificação dos valores admissíveis de galgamento.

A avaliação do risco de galgamento é abordada no Capítulo 3, sendo nele inicialmente feita uma breve introdução à problemática e à importância do seu estudo, seguida da descrição da metodologia empregue neste trabalho para a avaliação qualitativa do risco.

No Capítulo 4, é descrita, como estudo de caso, a aplicação da metodologia adotada ao Porto de Ponta Delgada, Açores, sendo nele feita a caracterização geral do referido porto, a descrição detalhada das estruturas portuárias escolhidas e a apresentação dos dados utilizados, incluindo a informação sobre a agitação marítima fornecida pelo modelo numérico WAVEWATCH III. Descreve-se também, neste capítulo, a modelação da agitação marítima pelos modelos SWAN e DREAMS, sendo apresentados o domínio de cálculo, as condições de aplicação adotadas e os resultados assim obtidos. O Capítulo 4 contém ainda uma descrição das condições de aplicação e dos dados necessários à utilização da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING para o cálculo do caudal médio galgado, bem como dos resultados da aplicação da metodologia adotada na avaliação do risco de galgamento das estruturas portuárias consideradas.

Finalmente, no Capítulo 5, estão sumarizadas as principais conclusões deste estudo, sendo ainda nele apresentadas algumas sugestões de trabalho futuro.

Capítulo 2

Caraterização do fenómeno de galgamento

2.1 Introdução

Dada a severidade da agitação marítima em Portugal, a crescente ocupação da costa pela população e as diferentes atividades desenvolvidas em zonas litorais, bem como a importância dos portos para a economia do país, é cada vez mais necessário estimar o risco de ocorrência de galgamentos de estruturas portuárias, tanto para prever e minimizar as suas consequências, como para a verificação do correto dimensionamento das próprias estruturas.

O galgamento de estruturas portuárias é um fenómeno caracterizado pela transposição do ponto mais alto da estrutura — o seu coroamento — por uma massa de água, devido à ação das ondas (Figura 2.1). O seu estudo torna-se cada vez mais relevante, dadas as dimensões dos potenciais danos associados, que podem incluir não apenas danos a equipamentos e navios, mas também a inoperacionalidade de portos, acarretando a interrupção da circulação de peões e veículos, a paralisação das operações de movimentação de cargas e a suspensão das atividades piscatórias e de transporte marítimo.

Isto reforça a necessidade de se estabelecer um equilíbrio entre os requisitos estruturais e a funcionalidade das estruturas, de forma a evitar impactos visuais e ambientais desnecessários e minimizar os custos da sua implantação (Reis, 2008).



Figura 2.1 – Fenómeno de galgamento no Porto de Ponta Delgada, Açores
(Fonte: Google).

No processo de propagação das ondas do mar, estas, quando incidem numa estrutura, têm parte da sua energia cinética dissipada por rebentação, outra parte refletida para o largo ou transmitida através da estrutura, sendo a restante transformada em energia potencial no escoamento que ocorre sobre a estrutura.

É necessário, assim, que as estruturas costeiras e portuárias estejam corretamente dimensionadas, de maneira a dissipar ao máximo a energia das ondas, principalmente aquelas mais expostas à severidade da agitação marítima, impedindo ou minimizando, com isto, a possibilidade de ocorrência de galgamento dessas estruturas.

É possível classificar o tipo de galgamento de acordo com a forma de dissipação da energia das ondas e a maneira como estas transpõem a estrutura:

- Lâmina de água (*green water*) – ocorre quando as ondas embatem na estrutura, dando origem a uma lâmina contínua de água sobre o seu coroamento;
- Salpicos (*splash*) – forma de galgamento em que há projeção de um grande volume de salpicos;
- Borrifos (*spray*) – resulta no transporte de pequenas gotas de água sobre o coroamento da estrutura, devido à ação de vento intenso.

2.2 Fatores condicionantes

2.2.1 Agitação marítima

O conhecimento do clima de ondas, dada a sua irregularidade, torna-se crucial, visto servir como suporte para o planeamento e a elaboração de projetos nos domínios oceânico, costeiro e portuário, incluindo:

- Obras de proteção costeira;
- Dimensionamento de estruturas marítimas e portuárias;
- Definição das condições de operacionalidade de sistemas portuários e planeamento das operações neles desenvolvidas;
- Aproveitamento da energia das ondas do mar;
- Planeamento das operações junto a plataformas *offshore*;
- Apoio às operações de resposta ao derrame de hidrocarbonetos.

A estimação do clima de agitação marítima exige a determinação das principais características das ondas em intervalos de tempo razoavelmente longos, de forma a permitir a caracterização da sua variabilidade espacial e temporal. Tais características incluem:

- Altura da onda – distância na vertical entre a crista e a cava da onda:
 - Altura máxima, H_{\max} – altura máxima observada no período em análise;
 - Altura significativa, H_s – média da terça parte das ondas com maior altura registadas no período considerado;
- Período da onda – intervalo de tempo entre a passagem de duas cristas (ou cavas) consecutivas por um determinado ponto:
 - Período médio, T_{zmed} – média dos períodos observados;
 - Período de pico, T_p – período associado à maior energia do espetro;
- Direção da onda – direção medida em relação ao Norte geográfico, no sentido dos ponteiros do relógio:

- Direção média, θ_m – média ponderada da direção de propagação das ondas mais energéticas, correspondentes ao período de pico;
- Direção de pico, θ_p – direção de origem do sistema de ondas predominante.

Para a determinação de tais características, pode recorrer-se a medições *in situ* feitas por boias ondógrafo, a técnicas de deteção remota, em especial a altímetros radar a bordo de satélites, ou a modelos numéricos devidamente calibrados e validados para a simulação da propagação de ondas desde o largo até à costa.

A aplicação de modelos numéricos de ondas é particularmente necessária quando, no local de interesse, não se dispõe de medições *in situ* ou outras fontes de dados que permitam a caracterização da agitação marítima nesse local. Nessa altura, tais modelos podem fornecer boas estimativas da agitação marítima junto à costa e em zonas abrigadas, como o interior de portos e marinas.

Para tal, desenvolveu-se no LNEC uma metodologia para a caracterização da agitação marítima em zonas costeiras e portuárias, com base em estimativas da agitação marítima ao largo obtidas com o modelo numérico de previsão da agitação à escala regional WAVEWATCH III (Tolman, 1991), que são transferidas para as zonas em estudo com recurso a modelos numéricos de propagação de ondas. Os dois modelos numéricos utilizados para simular a geração, transformação e propagação de ondas são o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999), para a propagação até à zona costeira, e o modelo DREAMS (Fortes, 1993), para a propagação das ondas no interior do porto. A aplicação destes dois últimos modelos é consequência da inexistência de um único modelo capaz de simular a propagação da agitação marítima de forma eficaz, tendo em conta todos os fenómenos abrangidos.

A Figura 2.2 permite uma melhor interpretação da formação da agitação marítima desde o largo até a costa.

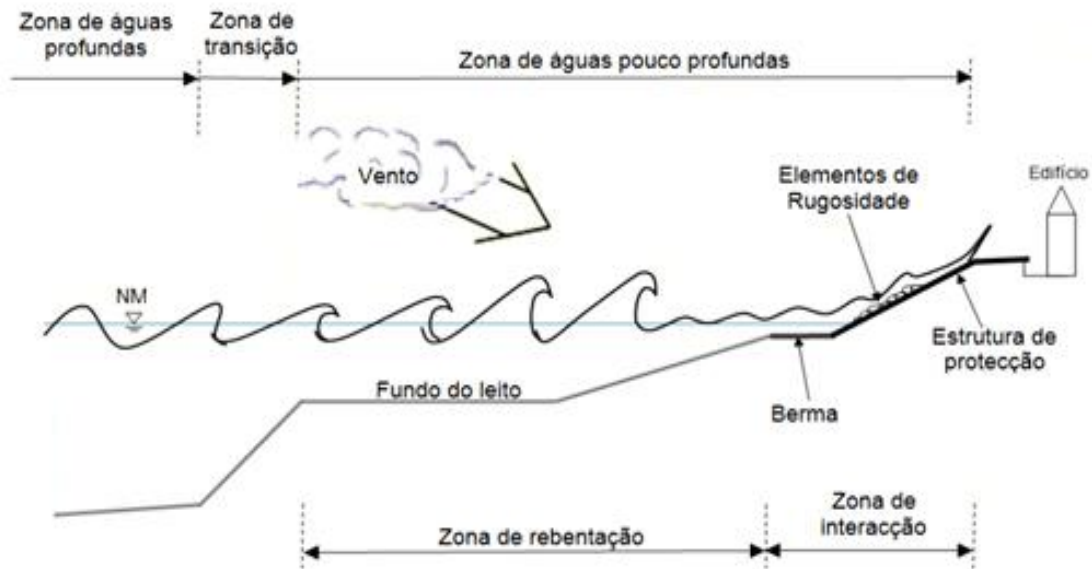


Figura 2.2 – Caracterização da agitação marítima (extraído de Afonso, 2011).

A propagação da onda inicia-se em águas profundas. Ao entrar na zona de transição, onde se observa a alteração do fundo, o comprimento de onda (L) diminui e a altura da onda (H) aumenta progressivamente, de modo que a sua declividade $s = H/L$ aumenta e o seu período (T) não se altera. A onda, ao sentir o fundo e à medida que a profundidade diminui, apresenta menor celeridade ($C=L/T$). Porém, é nesta zona que se observa uma grande transformação da onda, podendo esta atingir alturas muito grandes.

A maior dissipação de energia da onda sucede na zona de águas poucas profundas, primeiramente por rebenção da onda devido à sua declividade e, posteriormente, ao incidir com a estrutura de proteção. Caso esta energia não seja totalmente dissipada, a onda pode ser refletida, transmitida ou, ainda, ocorrer a transposição do coroamento da estrutura pela massa de água, o que constitui o fenómeno de galgamento.

A profundidade influencia as características das ondas e a sua rebenção. A profundidade e o comprimento de onda são diretamente proporcionais, visto que, para menores profundidades, têm-se menores comprimentos de onda.

Em suma, os processos de propagação das ondas são:

- Refração – fenómeno de alteração da direção da onda por modificações da batimetria de fundo; tal fenómeno acontece na aproximação das ondas às zonas de menor profundidade, diminuindo a sua celeridade ao

sentir o contacto com o fundo, enquanto que as ondas que estão mais longe da costa movimentam-se mais depressa, o que faz com que acabem por chegar à costa ao mesmo tempo (Pereira, 2008);

- Reflexão – a onda, ao encontrar uma superfície impermeável, nela incide e segue uma nova direção, fenómeno este que depende da natureza, das características físicas e da geometria dos obstáculos (SWAN Team, 2011); se a superfície for permeável, parte da energia da onda é refletida e parte é transmitida através da superfície;
- Empolamento – o comprimento das ondas diminui com a diminuição da profundidade e, conseqüentemente, a altura da onda aumenta, para que a quantidade de energia transportada seja a mesma numa área de superfície livre mais pequena (Pereira, 2008);
- Difração – transporte de energia ao longo das cristas das ondas no sentido em que a altura da onda é menor.

A seguir, são apresentados de forma sucinta os conceitos básicos e teóricos sobre os modelos de geração e propagação da agitação marítima utilizados nesta dissertação.

2.2.1.1 Modelação da agitação marítima

Modelação da agitação marítima ao largo

A agitação ao largo é obtida pelo modelo de previsão de escala regional WAVEWATCH III (WWIII) (Tolman, 1991), desenvolvido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration / National Centers for Environmental Predictions* (NOAA/NCEP), fornecendo estimativas da agitação marítima no Oceano Atlântico de seis em seis horas, informação esta que, introduzida no SWAN, faculta a simulação da agitação marítima em zonas costeiras.

O modelo WWIII inclui diversos processos físicos, tais como a refração e a deformação do campo de ondas devido às variações espaciais e temporais da profundidade média e das correntes médias. No entanto, a sua aplicação não é adequada a águas pouco profundas, pois não tem em consideração as interações

não lineares, ou seja, não tem em conta as situações em que a propagação das ondas é limitada pela profundidade.

A utilização desta ferramenta possibilita a previsão da agitação marítima ao largo, nomeadamente os parâmetros H_0 , T_p e θ_m , que serão estudados ao longo deste trabalho.

Modelação da agitação marítima na zona costeira

O modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999), acrónimo de *Simulating Wave Nearshore*, desenvolvido pela Universidade Técnica de Delft (TUDelft), na Holanda, é um modelo numérico de terceira geração, capaz de representar todos os processos relevantes de geração, propagação e dissipação da agitação marítima.

O modelo SWAN recorre à resolução da equação de balanço da ação espectral da onda (2.1) (Booij *et al.*, 1999; SWAN Team, 2011):

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (2.1)$$

onde:

N – Densidade espectral da ação da onda, dada por $N = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma}$, sendo $E(\sigma, \theta)$ o espetro de densidade de energia para a frequência relativa σ e a direção da onda θ ;

1ª Parcela – taxa de variação local da densidade de ação no tempo;

2ª Parcela e 3ª Parcela – propagação da densidade de ação no espaço geográfico, com velocidade de propagação c_x e c_y , segundo os eixos x e y , respetivamente;

4ª Parcela – refração induzida pelas correntes e pela variação de profundidade, com velocidade de propagação no espaço espectral c_θ ;

5ª Parcela – alteração da frequência relativa devido à mudança de profundidade e à presença de correntes, com velocidade de propagação expressa por c_σ ; este termo é nulo na ausência de correntes;

6ª Parcela – referente aos fenómenos que geram, dissipam ou redistribuem a energia da onda.

Note-se que esta equação tem em conta cinco dimensões, nomeadamente o tempo, o espaço geográfico (direções x e y) e o espaço espectral (frequência e direção).

A parcela representada por S_{tot} é descrita pela equação (2.2):

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{ds,br} \quad (2.2)$$

onde:

S_{in} – crescimento da onda por influência do vento;

S_{nl3} – representa as interações não-lineares entre ondas, interações triplas (três ondas);

S_{nl4} – representa as interações não-lineares entre ondas, interações quádruplas (quatro ondas);

$S_{ds,w}$ – dissipação da energia por rebentação parcial (*whitecapping*);

$S_{ds,b}$ – dissipação da energia por atrito no fundo;

$S_{ds,br}$ – dissipação da energia da onda por rebentação induzida pela profundidade.

Resumindo os conceitos básicos apresentados na equação (2.2), os processos de geração e dissipação de energia das ondas são:

- Geração de ondas pelo vento – a ação do vento sobre a superfície do mar produz pequenas ondas devido à variação da pressão; quanto maior esta for, maior o movimento vertical e, conseqüentemente, a onda cresce mais rapidamente, com um crescimento exponencial no tempo (SWAN Team, 2011);
- Interações entre ondas (não lineares, triplas e quádruplas) – em zonas de profundidades mais elevadas, as interações entre quatro ondas são consideradas as mais relevantes para a evolução do espectro, permitindo a redistribuição da energia por redução da energia de pico do espectro da onda, transferindo-a para uma zona de frequências mais elevadas, onde posteriormente poderá ser dissipada por rebentação parcial;

- Dissipação – parte da energia das ondas perde-se quando esta se propaga em direção à costa, devido a vários fenómenos de dissipação:
 - Dissipação por rebentação parcial (*whitecapping*) – quando a massa de água que define a onda exibe uma grande declividade, esta tende a rebentar de forma parcial também devido à ação do vento;
 - Dissipação por rebentação devido a efeitos de batimetria – a transição de águas de maior profundidade para pouco profundas conduz a um aumento da altura significativa da onda; se a razão entre a profundidade e a altura da onda for grande, esta tende a rebentar e a sua energia é rapidamente dissipada;
 - Dissipação por atrito no fundo – a propagação da onda desde a zona de geração até à linha de costa efetua-se por movimentos orbitais das partículas líquidas, sendo circulares para grandes profundidades e elípticas achatadas em pequenas profundidades; no movimento de transição para águas pouco profundas, os movimentos das partículas desenvolvem-se até ao fundo, ocorrendo a interação entre estes dois movimentos, originando assim uma transferência de energia.

Para a correta utilização do modelo numérico SWAN, são necessários dados de base, nomeadamente a batimetria, o campo de ondas e as marés, podendo-se ainda introduzir os ventos, caso sejam um parâmetro importante na zona em estudo.

O modelo SWAN tem como opção a utilização de grelhas encaixadas (*nested grids*), opção esta que consiste em dividir a área em estudo em sub-áreas cuja resolução é diferente e cada vez mais refinada. A execução do modelo SWAN será efetuada da grelha de menor resolução para a de maior, sendo os resultados de uma malha transferidos de uma grelha para a outra como condições de fronteira. Assim, o SWAN é executado, numa primeira corrida, com um domínio maior e com uma malha mais grosseira, retirando a informação e gerando condições de fronteira para uma segunda corrida do modelo, mas desta vez com um domínio mais pequeno e uma malha de maior resolução. Esta particularidade permite a interligação com outros modelos de larga escala, como, por exemplo, o WWIII, permitindo otimizar um sistema de previsão com uma melhor exatidão de resultados.

Os resultados do modelo SWAN são parâmetros que caracterizam a agitação marítima, destacando-se a altura significativa, H_s , os períodos de pico, T_p , e médio, T_z , e as direções de pico, θ_p , e média, θ_m .

Devido ao modelo não ter em conta os fenómenos de reflexão (SWAN Team, 2011), não é viável a sua aplicação a zonas confinadas, como portos, marinas, baías ou lagos.

Modelação da agitação marítima no interior do porto

Dada a restrição da modelação anteriormente referida para zonas confinadas, a propagação da agitação desde a proximidade do porto até ao seu interior é realizada com a aplicação do modelo DREAMS. Este modelo baseia-se na equação elítica de declive suave (2.3), apresentada por Berkhoff (1972) e resolvida pelo método dos elementos finitos para o cálculo da propagação e deformação de ondas marítimas regulares em zonas costeiras (Fortes, 1993; Zóximo *et al.*, 2005):

$$\nabla(CC_g \Delta \eta) + k^2 CC_g \eta = 0 \quad (2.3)$$

onde:

$$C = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kh)} \quad (2.4)$$

e

$$C_g = \frac{1}{2} C \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] \quad (2.5)$$

sendo:

C – velocidade de fase da onda;

C_g – velocidade de grupo;

ω – frequência angular da onda;

h – profundidade local;

η – elevação da superfície livre da água;

k – número de onda;

g – aceleração gravítica.

Como a maioria dos modelos numéricos, este apresenta limitações, sendo que não tem em conta os efeitos da dissipação de energia por rebentação e atrito de fundo, os efeitos das correntes na propagação das ondas, os galgamentos sobre estruturas portuárias e efeitos não-lineares, devido a ser um modelo linear, estando limitado a zonas pouco extensas, por exigir um grande esforço computacional — em termos de memória necessária e tempo de cálculo — quando aplicado a grandes áreas costeiras onde a variabilidade da profundidade é notada e também a fundos de declive suave (até 1/3) (Neves, 2009).

Para a execução deste modelo são necessários dados de entrada, como o ficheiro com as características da malha de elementos finitos e da fronteira com que foi discriminado o domínio de estudo e características da agitação marítima (Zózimo *et al.*, 2005).

As condições de fronteira são referentes às condições de radiação, que permitem a saída de ondas do domínio no sentido de se propagarem para o infinito, às condições de geração e radiação que permitem a entrada da agitação incidente e a saída das perturbações geradas no domínio, e às condições de reflexão, que consistem no contorno dos obstáculos da zona em estudo, como molhes, entre outros (Fortes *et al.*, 2006).

Assim, o DREAMS permite a propagação de ondas em zonas de batimetria variável, tendo em conta fenómenos de refração, difração e reflexão, sendo, portanto, adequado para o cálculo da agitação marítima em locais confinados, tais como portos, marinas, baías ou lagos.

O modelo apresenta como resultados os valores do índice de agitação, H/H_0 — em que H é a altura de onda no ponto considerado e H_0 é a altura da onda à entrada do domínio —, e a respetiva direção de onda.

Visto ser um modelo linear, todos os cálculos são feitos para uma altura de onda unitária. Neste sentido, para a transferência dos regimes de agitação obtidos com o modelo SWAN para o interior do porto, recorre-se ao programa 3D_interpol (Pinheiro, 2010), que efetua este procedimento de forma automática, uma vez conhecidos os registos do SWAN e os resultados do DREAMS.

2.2.2 Nível do mar

O nível do mar varia consoante a maré, sendo mais elevado na maré alta, onde se obtém maiores comprimentos de onda e menores distâncias entre a superfície livre e a cota de coroamento de uma estrutura, fazendo com que haja menor área de talude emersa. Assim, haverá menor dissipação de energia da onda quando esta colide com a estrutura, o que levará a uma maior probabilidade de risco de galgamento.

A informação do nível de maré pode ser obtida de duas formas:

- Com base nas leituras de marégrafos, instrumentos que possibilitam a medição da variação do nível das águas num determinado local;
- Através da previsão da maré astronómica, calculada com base em análises harmónicas de séries de observações maregráficas de duração variável do Instituto Hidrográfico (IH).

Quando os dados são da maré astronómica, há que acrescentar a sobrelevação meteorológica ou *storm surge*, que é a subida temporária do nível do mar devido às condições meteorológicas, nomeadamente à variação no campo da pressão atmosférica ou à ação de ventos fortes e prolongados (Taborda e Dias, 1992). O valor desta sobrelevação varia ao longo do tempo e conforme o local.

2.2.3 Geometria da estrutura

As estruturas que serão estudadas no decorrer deste trabalho são designadas por quebramares, construídos com o intuito de possibilitar a criação de uma zona abrigada, permitindo assim a proteção das infraestruturas portuárias, a realização de operações de atracagem e de movimentação de cargas e a proteção de zonas costeiras contra ondas de *tsunami*, entre outros (Fabião, 2012).

A configuração de um quebramar é diversa, dependendo da função, das operações enquadradas na área que pretende abrigar, das características da agitação marítima e da morfologia do local. A mais simples e mais usual é o quebramar de talude, ilustrado na Figura 2.3.

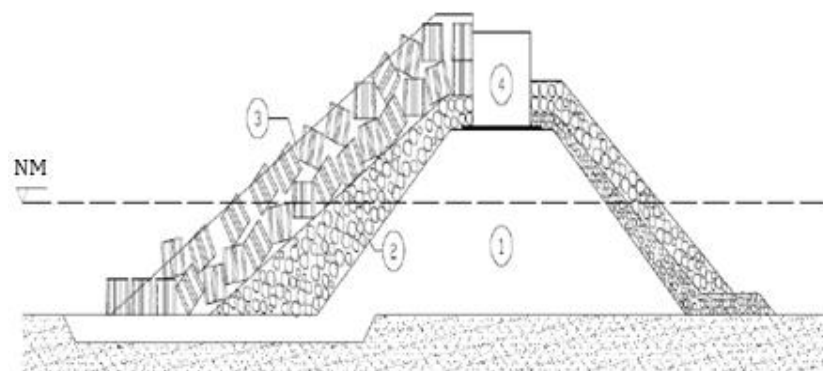


Figura 2.3 – Constituição do perfil de um quebramar de talude (Fabião, 2012).

A numeração presente na Figura 2.3 diz respeito às principais partes constituintes de um quebramar de talude e suas respectivas funções (Fabião, 2012):

1. Núcleo – zona interior de enchimento, usualmente constituída por enrocamento de todo o tamanho (T.O.T.); a sua permeabilidade influencia de forma significativa a estabilidade do manto e o seu galgamento;

2. Submanto – zona de transição entre o manto resistente e o núcleo, constituída por uma ou mais camadas de enrocamentos, de pesos iguais ou diferentes, com o intuito de evitar a remoção do material do núcleo e aumentar a porosidade do talude;

3. Manto resistente – camada exterior do talude, onde a incidência das ondas é direta;

4. Superestrutura – bloco de betão ou alvenaria, em geral maciço, onde se situa o coroamento, sendo a sua cota máxima determinante no comportamento da estrutura.

Atualmente, a maioria dos mantos de quebramares de talude tem na sua constituição blocos artificiais de betão (tetrápodos, antifers, dolos, etc.). Estes mantos apresentam um bom comportamento hidráulico, dada a sua permeabilidade e a sua rugosidade, que possibilitam o aumento da absorção da onda incidente e a redução da reflexão e do caudal médio de galgamento (Danel, 1953, *apud* Fabião, 2012). Estes mantos são económicos, devido à sua facilidade de fabrico e colocação (Pita, 1986; Pinto, 2001, *apud* Fabião, 2012).

É importante referir alguns parâmetros da estrutura indispensáveis na análise do fenómeno em questão (Figura 2.4). Entre eles, a altura de coroamento

da estrutura acima do nível médio do mar, R_c , é a mais significativa, dado que quanto menor for esta distância maior será a probabilidade de risco de galgamento. O dimensionamento dessa altura também não poderá ser excessivo, visto que, para além do negativo impacto visual, irá acarretar um maior custo da estrutura.

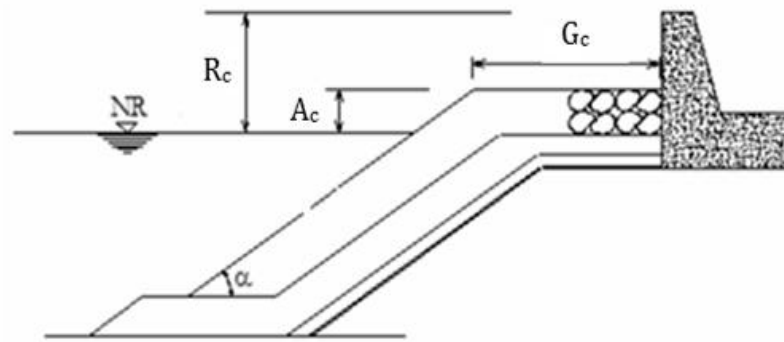


Figura 2.4 – Representação de alguns parâmetros que descrevem a geometria da estrutura (adaptado de Brito, 2007).

A inclinação, a rugosidade e a permeabilidade do talude, a existência de uma berma de coroamento de largura G_c e a geometria são relevantes para a redução da energia da onda incidente na estrutura e, conseqüentemente, para a diminuição da probabilidade de existir galgamento.

O parâmetro de inclinação do talude, α , combinado com a declividade da onda, s (como já foi referido, relaciona a altura da onda, H , com o comprimento de onda, L), define o número de Iribarren, ξ :

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s}} \quad (2.6)$$

Obtido o valor do número de Iribarren, pode-se classificar o tipo de rebentação da onda sobre o talude da estrutura (Brito, 2007):

- $\xi < 0,5$ – rebentação progressiva; a crista deforma-se e destabiliza-se, criando uma leve espuma sobre o talude; frequente em praias de declive suave;
- $0,5 < \xi < 3$ – rebentação mergulhante; a crista cria uma curvatura e cai sobre o talude, originando salpicos sobre o mesmo;

- $3 < \xi < 3,5$ – rebentação colapsante; a crista não rebenta inteiramente, nem origina salpicos, criando-se uma espuma que se estende pelo talude;
- $\xi > 3,5$ – rebentação de fundo, em que a onda apresenta uma forte reflexão e pouca declividade, avançando sem rebentar, espraiando-se¹ no talude.

A escolha da geometria da estrutura e o seu dimensionamento são muito importantes, dado que a sua escolha pode controlar e reduzir a possibilidade de ocorrência de galgamento e interferir no custo total da estrutura. Para isto, deve ter-se sempre em conta os valores admissíveis de galgamento, para que não se ponha em perigo o que possa existir na sua envolvente.

2.3 Metodologia de cálculo do galgamento

2.3.1 Introdução

O dimensionamento de estruturas portuárias é um processo complexo, visto que estas estão constantemente a ser solicitadas pela agitação marítima extremamente irregular, conduzindo a uma diversidade de soluções construtivas e de materiais que poderão ser empregues.

Em rigor, a análise do galgamento deveria ser feita utilizando metodologias de cálculo desenvolvidas especificamente para cada estrutura, o que se tornaria um processo oneroso e demorado. Para evitar esta situação, em geral, são utilizadas, em fase de Estudo Prévio de uma estrutura, metodologias baseadas em situações semelhantes e ensaiadas em laboratório (Brito, 2007).

Fórmulas empíricas e semi-empíricas, modelos físicos e, mais recentemente, modelos numéricos e redes neuronais são os vários métodos para a determinação do caudal médio de galgamento que serão referidos sumariamente nas secções seguintes.

¹ Designa-se por espraiamento a cota máxima atingida por uma onda marítima ao interagir com uma praia ou estrutura costeira (Gomes, 1981).

2.3.2 Fórmulas empíricas e semi-empíricas

As fórmulas empíricas e semi-empíricas são equações baseadas em resultados obtidos em modelos físicos, sendo as primeiras derivadas de ajuste de curvas a dados e as outras baseadas em considerações teóricas e calibradas pelos modelos físicos.

Ambas são métodos de fácil utilização e económicos. Contudo, a sua aplicabilidade está limitada às condições que foram desenvolvidas nos modelos físicos em que se baseiam, relativamente à geometria da estrutura e aos parâmetros específicos de agitação marítima (Reis, 2008).

2.3.3 Modelos físicos

Atualmente, a modelação física constitui a metodologia mais fiável de prever o caudal médio de galgamento, sendo aplicada a casos concretos, o que permite simular os fenómenos específicos atuantes na realidade. A fiabilidade dos resultados fornecidos por este método leva a que sejam usados em estudos de protótipo (Figuras 2.5 e 2.6) e na calibração e validação de outros métodos de cálculo do galgamento (Reis e Neves, 2010).

Porém, essa é a metodologia mais cara e demorada, obrigando à existência de infraestruturas e equipamentos próprios para tais ensaios e pessoal com elevada experiência tanto para a realização do ensaio como para a análise dos resultados, além de apresentar uma difícil adaptação a outras características de estruturas, o que limita a sua aplicação.



Figura 2.5 – Modelo físico da cabeça do quebramar de proteção da marina de Ponta Delgada, São Miguel, Açores (LNEC, 2004).



Figura 2.6 – Modelo físico do terminal de passageiros e piscina natural do Porto de Ponta Delgada, São Miguel, Açores (LNEC, 2004).

2.3.4 Modelos numéricos

Nos últimos anos, devido à melhoria dos meios de cálculo, o desenvolvimento de modelos numéricos tem vindo a crescer, uma vez que a modelação numérica é mais barata e mais rápida que a modelação física e, uma vez calibrados e validados, os modelos numéricos são muito flexíveis na sua utilização. No entanto, para que as simulações efetuadas sejam realistas, os modelos devem ser capazes de representar todos os fenómenos hidrodinâmicos relevantes e de modelar um número de ondas suficiente para gerar resultados consistentes.

Atualmente, esses modelos ainda não conseguem ser, simultaneamente, exatos e eficientes do ponto de vista computacional. Já existem modelos que conseguem ser mais completos, apresentando, em contrapartida, maiores tempos de cálculo, o que os torna ainda pouco úteis na prática da Engenharia, dado o tempo reduzido usualmente disponível para a elaboração de um projeto e a

necessidade de calibração de cada caso de estudo (Reis e Neves, 2010). Os modelos mais simples têm sido utilizados no dimensionamento de estruturas marítimas galgáveis e na previsão de inundações, como por exemplo, os modelos Amazon (Reis *et al.*, 2008) e IH-2VOF (Lara *et al.*, 2011).

2.3.5 Redes neuronais artificiais

Recentemente, o uso de redes neuronais artificiais tem tido também um papel importante na determinação do galgamento, especialmente em fase de Estudo Prévio. Nas redes neuronais, o processamento assemelha-se ao cérebro humano, o que possibilita a interligação de uma grande variedade de parâmetros de *input* e *output*, tornando o mecanismo muito flexível, por exemplo, na descrição da geometria das estruturas (Rocha, 2012).

Entre os anos de 2002 e 2004, a União Europeia financiou o projeto de investigação, CLASH (Coeveld *et al.*, 2005), tendo como principal finalidade contribuir para o progresso na previsão do fenómeno de galgamento em estruturas marítimas, analisando efeitos de escala entre o modelo e o protótipo. Um resultado significativo desse projeto foi o desenvolvimento de uma ferramenta, NN_OVERTOPPING, com base em cerca de 700 redes neuronais artificiais e numa extensa base de dados, com 8400 combinações de *input-output* obtidas em ensaios de modelos físicos reduzidos realizados em várias universidades e institutos (Coeveld *et al.*, 2005). As 700 redes neuronais desenvolvem-se em três camadas (Figura 2.7): camada de entrada (*input layer*), camada oculta (*hidden layer*) e camada de saída (*output layer*).

As variáveis da camada de entrada podem ser equiparadas a neurónios, em que cada um equivale a uma variável de entrada. O processamento de cada neurónio é efetuado na camada oculta, que utiliza a informação fornecida na camada anterior e a transmite à camada seguinte através de conexões.

A última camada (camada de saída) apresenta um número de “neurónios” igual ao número de parâmetros que se pretende estimar, que neste caso é o caudal médio de galgamento, q , expresso em $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$.

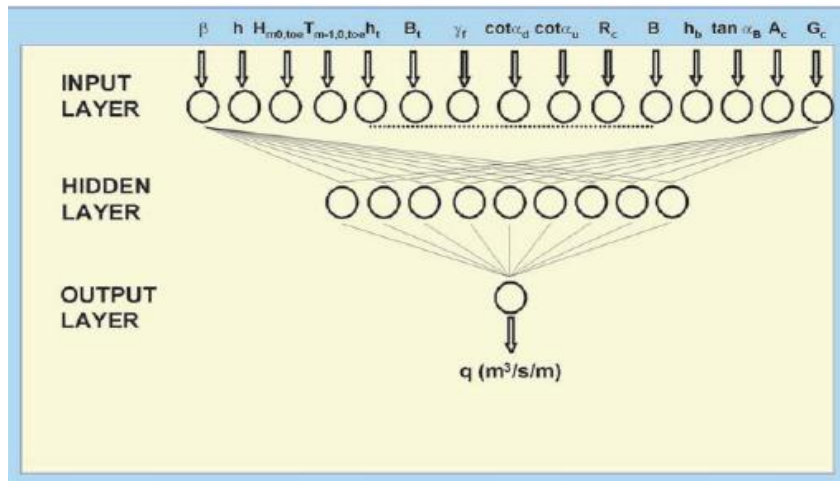


Figura 2.7 – Parâmetros das redes neurais na ferramenta NN_OVERTOPPING (adaptado de Pullen *et al.*, 2007).

Para o correto funcionamento da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING, são necessários 15 parâmetros de entrada (camada de entrada), onde três deles são referentes à agitação marítima, obtida pelo acoplamento dos modelos numéricos de propagação anteriormente mencionados, sendo os restantes referentes à geometria da estrutura, conforme ilustrado na Figura 2.8.

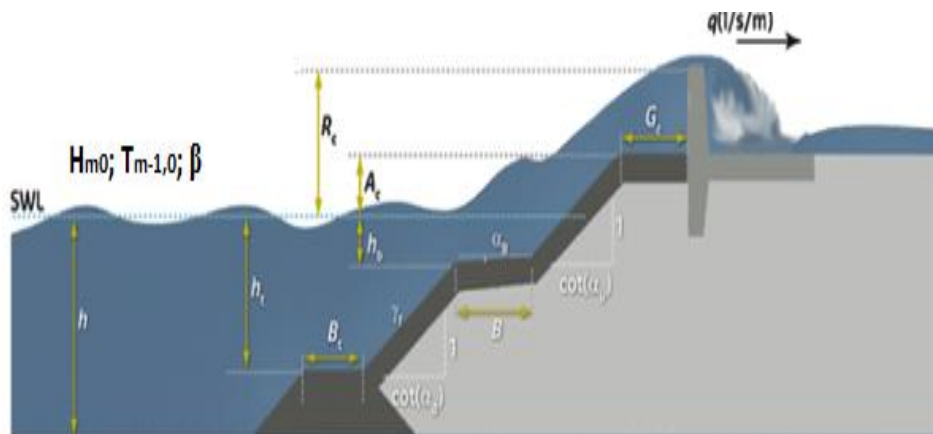


Figura 2.8 – Parâmetros de entrada na ferramenta NN_OVERTOPPING (adaptado de http://nn_overtopping.deltares.nl/overtopping.aspx).

Os três parâmetros de descrição da agitação marítima são:

- H_{m0} [m] – altura significativa na frente da estrutura, calculada com o momento espectral de ordem zero, m_0 ;
- $T_{m-1,0}$ [s] – período médio espectral na frente da estrutura; para espectros unimodais, como o espectro JONSWAP (Hasselmann *et al.*, 1973), este

parâmetro pode relacionar-se com o período de pico do espetro, T_p (s), através da Equação (2.7):

$$T_{m-1,0} \approx \frac{T_p}{1,1} \quad (2.7)$$

- β [°] – ângulo entre a direção de propagação da onda e a normal à estrutura.

Os doze parâmetros de descrição da geometria da estrutura são:

- h [m] – profundidade da água em frente à estrutura;
- h_t [m] – profundidade da água na banquetta do pé de talude da estrutura; no caso de não haver banquetta, $h_t = h$ (Coeveld *et al.*, 2005);
- B_t [m] – largura da banquetta do pé de talude;
- B [m] – largura da berma da estrutura medida na horizontal;
- h_b [m] – profundidade da água na berma da estrutura;
- R_c [m] – distância entre o nível do mar e a cota de coroamento da parte impermeável da estrutura;
- A_c [m] – distância entre o nível do mar e a cota da berma de coroamento da estrutura, medida na vertical;
- G_c [m] – largura da berma de coroamento da estrutura;
- α_b [°] – ângulo da berma com a horizontal;
- α_d [°] – ângulo do talude abaixo da berma com a horizontal;
- α_u [°] – ângulo do talude acima da berma com a horizontal;
- γ_f [-] – coeficiente de rugosidade/permeabilidade da estrutura, Quadro 2.1.

Pelo Quadro 2.1, verifica-se que quanto menor o valor do coeficiente γ_f , maior a capacidade da massa de água penetrar na estrutura, aumentando a capacidade de dissipação da energia da onda incidente, o que resulta em menor galgamento.

Quadro 2.1 – Valores do coeficiente de rugosidade/permeabilidade para diferentes tipos de proteção da estrutura (Coeveld *et al.*, 2005).

Tipo de material	Y_f
Superfície lisa e impermeável	1,00
Enrocamento	0,50
Cubos (duas camadas; colocação desarrumada)	0,50
Cubos (apenas uma camada; colocação desarrumada)	0,52
Cubos Antifer	0,50
Acropódes	0,49
Tetrápodos	0,40
Dolos	0,43

Relativamente aos parâmetros da estrutura, é fundamental o conhecimento do perfil transversal. Dada a diversidade de perfis existentes na realidade, o manual da ferramenta NN_OVERTOPPING (Coeveld *et al.*, 2005) expõe as possíveis configurações de perfis que a ferramenta contempla e descreve como se podem obter os parâmetros necessários. Além disto, o manual permite também perceber como a ferramenta funciona, os resultados que se podem alcançar e as observações que serão mostradas no caso de erro, tornando-o imprescindível para a utilização desta ferramenta neuronal. Caso os parâmetros introduzidos não estejam em conformidade com os valores limites de aplicabilidade desta ferramenta (Anexo A), os resultados são acompanhados por duas colunas, que informam do erro/observações.

O ficheiro de *output* criado pelo NN_OVERTOPPING apresenta, na primeira coluna, o caudal médio de galgamento, q ($m^3/s/m$), seguido de sete colunas com os quantis $q_{2,5\%}$, $q_{5\%}$, $q_{25\%}$, $q_{50\%}$, $q_{75\%}$, $q_{95\%}$ e $q_{97,5\%}$, que permitem avaliar a incerteza dos resultados através de intervalos de confiança (Coeveld *et al.*, 2005).

Esta ferramenta tem sido muito usada, especialmente em fase de Estudo Prévio, devido à sua rápida execução, à facilidade de aplicação e visto se tratar apenas de um ficheiro executável. Para a execução deste ficheiro, é somente necessário preparar um ficheiro de texto contendo os parâmetros de agitação marítima referentes à secção onde se pretende estimar o caudal médio galgado e os parâmetros da geometria da estrutura em questão. Porém, esta ferramenta não

é adequada para identificar caudais nulos ou muito reduzidos (valores inferiores a $Q=10^{-6}$, onde Q é o caudal médio de galgamento adimensional), apresentando nestes casos o valor -1.

2.4 Valores admissíveis de galgamento

As estruturas marítimas são normalmente dimensionadas para um valor limite de galgamento admissível, que depende das consequências do galgamento, do perfil da estrutura, das atividades desenvolvidas na secção em estudo e da necessidade de garantir a segurança da própria estrutura e de pessoas e bens.

Sendo esta componente de extrema importância, tanto para definir o dimensionamento da estrutura como para atingir a finalidade deste estudo, os valores admissíveis adotados baseiam-se nas recomendações de Pullen *et al.* (2007) e são apresentados nos Quadros 2.2 a 2.5.

Os Quadros 2.2 a 2.5 permitem estabelecer os valores limites do caudal médio de galgamento, de acordo com o tipo de estrutura galgada, as atividades desenvolvidas nos locais de estudo e o tipo de danos inerentes, exibindo um vasto intervalo de valores.

Quadro 2.2 – Valores admissíveis para o caudal médio de galgamento para estruturas marítimas (adaptado de Pullen *et al.*, 2007).

Condições e tipo de danos		Caudal médio, q (l/s/m)
Estrutura de defesa com talude no tardez	Sem danos se o coroamento e o tardez estiverem bem protegidos	50 – 200
	Sem danos no coroamento e no tardez de um dique de argila coberto por relva	1 – 10
	Sem danos no coroamento e no tardez mesmo se não tiverem protegidos	0,1
Defesas frontais	Danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da defesa frontal	200
	Danos em zonas de circulação relvadas ou levemente protegidas	50

Quadro 2.3 – Valores admissíveis do caudal médio de galgamento para navios e equipamentos na zona abrigada da estrutura (adaptado de Pullen *et al.*, 2007).

Condições e tipo de danos	Caudal médio, q (l/s/m)
Danos significativos ou afundamento de grandes barcos	50
Afundamento de barcos pequenos localizados a 5–10 m da estrutura	10 ⁽¹⁾
Danos em grandes barcos	
Danos em edifícios	1 ⁽²⁾
Danos em equipamentos localizados a 5–10 m da estrutura	0,4 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Limites relacionados com o galgamento obtido na estrutura marítima.

⁽²⁾ Limites relacionados com o galgamento efetivo obtido no edifício.

Quadro 2.4 – Valores admissíveis do caudal médio de galgamento para pessoas (adaptado de Pullen *et al.*, 2007).

Condições e tipo de danos	Caudal médio, q (l/s/m)
Pessoal treinado, com equipamento e calçado adequado, com perceção de que se pode molhar. O galgamento gera escoamentos de pouca altura, sem jatos de água a cair, perigo reduzido de queda para o mar.	1 – 10
Pessoas cientes, com visão clara do mar, que não ficam facilmente perturbadas ou assustadas, capazes de tolerar o facto de ficarem molhadas, que se deslocam numa zona larga ⁽³⁾ .	0,1
Pessoas totalmente desprevenidas, que não conseguem observar a agitação incidente, que podem facilmente ficar assustadas ou perturbadas, com vestuário inapropriado para se molharem ou que se desloquem numa zona estreita ou propícia a tropeções e quedas.	0,03

⁽³⁾ Estas condições não têm que ocorrer em simultâneo.

De referir que a gama de valores admissíveis varia entre 0,03 e 200 l/s/m. O critério mais crítico (0,03 l/s/m) diz respeito à circulação de pessoas desprevenidas, visto a segurança humana ser um dos fatores de maior preocupação. O critério menos exigente (200 l/s/m) diz respeito à integridade das estruturas marítimas. Note-se que o critério para veículos em circulação a velocidade moderada ou alta apresenta igualmente um valor admissível de caudal médio galgado bastante baixo, de 0,01 a 0,05 l/s/m.

Quadro 2.5 – Valores admissíveis do caudal médio de galgamento para circulação de veículos (adaptado de Pullen *et al.*, 2007).

Condições e tipo de danos	Caudal médio, q (l/s/m)
Circulação a baixa velocidade, galgamento gera escoamentos de pouca altura, sem jatos de água a cair na via, veículo não imerso.	1 – 10 ⁽⁴⁾
Circulação a velocidade moderada ou alta, galgamento projetado com grande velocidade ou com jatos de água a cair na via que podem imergir o veículo.	0,01 – 0,05 ⁽⁵⁾

⁽⁴⁾ Limites relacionados com o galgamento efetivo obtido na via de circulação.

⁽⁵⁾ Limites relacionados com o galgamento obtido na estrutura marítima, mas é assumido que a via de circulação se encontra atrás da estrutura.

No caso de se querer prever o caudal médio galgado em algumas zonas situadas a uma certa distância, x, da estrutura galgada (passeios, estradas, edifícios, propriedades, etc.), Pullen *et al.* (2007) definem a seguinte regra simples e aproximada:

$$q_x = \frac{q}{x} \quad (2.8)$$

em que:

q_x – caudal médio de galgamento calculado num ponto a x metros da estrutura galgada;

q – caudal médio de galgamento da estrutura;

x – distância (entre 5 e 25 m) entre a estrutura galgada e o ponto de interesse.

Capítulo 3

Avaliação do risco associado ao galgamento e criação de mapas de risco

3.1 Introdução

A sociedade em geral, bem como as normas para projeto, construção e manutenção de obras marítimas, exigem cada vez mais uma quantificação dos riscos associados e um aumento da sua fiabilidade (Reis e Santos, 2010).

No que diz respeito ao risco de galgamento de estruturas marítimas, por vezes, as graves consequências poderiam ser travadas caso fosse feita uma avaliação de risco prévia, para que os galgamentos não ultrapassassem os valores admissíveis e, quando excedessem esses valores, as pessoas estivessem mais sensibilizadas e prevenidas relativamente a este fenómeno. Assim, torna-se necessário a implementação de uma metodologia de avaliação do risco, com o objetivo de reduzir os prejuízos económicos e ambientais e a perda de vidas humanas, a partir da criação de mapas de risco e a emissão antecipada de alertas, servindo de apoio às entidades competentes.

No presente trabalho, utilizou-se uma metodologia desenvolvida no LNEC (Neves *et al.*, 2012) para a avaliação do risco, baseada na combinação entre a probabilidade de ocorrência de um acontecimento perigoso — nomeadamente, a ocorrência de um valor de galgamento superior ao caudal médio admissível adotado para a secção de estudo — e as consequências associadas a essa ocorrência:

$$\text{Grau de Risco} = \text{Grau de Probabilidade} \times \text{Grau de Consequências} \quad (3.1)$$

A avaliação de risco é um processo complexo, na medida em que envolve, inicialmente, o cálculo da agitação marítima, a partir de modelos de previsão de agitação marítima e de modelos de propagação de ondas, e, posteriormente, o cálculo do caudal médio galgado, usualmente a partir de fórmulas empíricas e ferramentas neuronais.

Para uma melhor compreensão e simplificação da avaliação do risco, Raposeiro *et al.* (2010) atribuíram escalas de graus, tanto para a probabilidade, como para as consequências associadas, que serão apresentadas na secção seguinte.

3.2 Metodologia de avaliação qualitativa do risco

Sumariamente, a metodologia desenvolvida pelo LNEC divide-se nas seguintes etapas (Quadro 1.1):

- Primeiramente, define-se o regime de agitação marítima incidente nos pontos em estudo, recorrendo a dados obtidos *in situ* (boia ondógrafo) ou através de modelos numéricos de propagação de ondas;
- Adquiridas as variáveis necessárias de agitação incidente para cada secção e após analisados e adquiridos os respetivos parâmetros fundamentais da geometria da estrutura, recorre-se ao uso da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING, calculando-se, assim, o caudal médio de galgamento em cada secção;
- Estabelecem-se os valores admissíveis do caudal médio galgado, tendo em conta o perfil transversal da estrutura galgada e a utilização e as características da zona abrigada pela estrutura;
- Calcula-se o grau de risco de ocorrência de galgamentos que excedem os valores admissíveis pré-estabelecidos, através da multiplicação do grau de probabilidade dessa ocorrência (Quadro 3.1) — adquirido a partir da análise dos caudais médios estimados com o NN_OVERTOPPING e dos valores admissíveis — e do grau das respetivas consequências (Quadro 3.2);

- Criação de um mapa associado ao risco de galgamento em cada secção em estudo (Quadro 3.3).

Quadro 3.1 – Probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis e respetivo grau (Neves *et al.*, 2012).

Descrição	Probabilidade de Ocorrência (Guia de Orientação)	Grau
Improvável	0 – 1%	1
Raro	1 – 10%	2
Ocasional	10 – 25%	3
Provável	25 – 50%	4
Frequente	> 50 %	5

A probabilidade de ocorrência de galgamento excessivo da secção em estudo é dada pelo quociente entre o número de vezes que, no período de tempo considerado, o caudal médio estudado supera o caudal médio admissível prédefinido e o número total de caudais médios de galgamento da amostra.

O quadro de consequências foi desenvolvido com o *input* de autoridades portuárias, apesar de ser ainda bastante genérico e de não quantificar as consequências.

O grau de probabilidade de ocorrência e o grau de consequências associado devem refletir o mais fielmente possível a realidade face aos caudais de galgamento obtidos na zona em estudo, de forma a que o grau de risco seja realista para os períodos considerados e possa ser usado para o eventual planeamento e gestão de intervenções nas secções analisadas.

O Quadro 3.3, além do grau obtido, da respetiva cor e da sua descrição, apresenta também um guia de orientação que informa algumas medidas que poderão ser tomadas para o controlo do risco associado.

Quadro 3.2 – Consequências associadas a um acontecimento perigoso e respetivo grau (Neves *et al.*, 2012).

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)							Grau
	Pessoas	Ambiente	Gestão Portuária	Património				
				Edifícios	Equipamentos	Estrutura marítima	Veículos	
Insignificantes	Possibilidade de ferimentos muito ligeiros	Impacto ambiental desprezável	Alterações ligeiras nas atividades portuárias	Danos exteriores quase inexistentes	Danos quase inexistentes	Danos na zona ativa da estrutura não necessitando reparação	Danos quase inexistentes	1
Reduzidas	Uma única lesão ligeira	Pequenos derrames (por exemplo, de combustível)	Algumas alterações nas atividades portuárias; má publicidade para o porto a nível nacional	Danos interiores e exteriores insignificantes	Danos ligeiros que não implicam a paragem do equipamento; resolução de problemas quase iminente	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos sem exposição de filtros; reparação imediata desnecessária	Danos significativos que não afetam a sua utilização	2
Sérias	Múltiplas lesões ligeiras ou uma única lesão grave	Algumas áreas com acesso proibido devido a poluição causada por derrames	Operações de carga e descarga condicionada; possibilidade de paragem parcial do porto; má publicidade generalizada	Danos interiores moderados	Danos que implicam inatividade do equipamento para reparação	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos com exposição de filtros; superestrutura afetada mas sem movimentos significativos	Danos exteriores sérios com consequências na sua utilização que levam a uma paragem temporária	5
Muito sérias	Muitas lesões graves ou uma perda de vida	Episódio de poluição dentro e fora do porto com possibilidade de consequências irreparáveis para o ambiente	Impossibilidade de realização de operações de carga e descarga durante vários dias; má publicidade a nível nacional	Grandes danos no interior; estrutura do edifício afetada	Danos graves; inatividade prolongada do equipamento	Filtros afetados; movimentos substanciais da superestrutura	Danos exteriores sérios com consequências na sua utilização que levam a uma paragem prolongada	10
Catastróficas	Muitas perdas de vidas	Derrames generalizado; contaminação muito grave; consequências irreparáveis para o ambiente; necessidade de ajuda internacional	Restrições muito sérias às operações de carga e descarga durante muito tempo; perda de trocas comerciais durante muito tempo; má publicidade internacional	Danos interiores muito graves; estrutura do edifício seriamente afetada; colapso iminente	Perda do equipamento (reparação impossível)	Colapso da estrutura	Danos sérios inviabilizando a sua utilização em definitivo	25

Quadro 3.3 – Avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido (Neves *et al.*, 2012).

Grau de Risco	Descrição	Controlo do Risco (Guia de Orientação)
1 – 3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco.
4 – 10	Reduzido	Risco que pode ser considerado aceitável/tolerável caso se seleccione um conjunto de medidas para o seu controlo.
15 – 30	Indesejável	Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é essencial a monitorização.
40 – 125	Inaceitável	Risco intolerável; tem que se proceder ao controlo do risco (e.g., eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.).

Capítulo 4

Caso de estudo

4.1 Introdução

No estudo do fenómeno de galgamento é indispensável o conhecimento do local em análise, de forma a conhecer as zonas de maior preocupação e proteger as atividades abrangentes. Este conhecimento circunscreve não só as atividades abrangidas, mas também o tipo e perfil da estrutura marítima, pois todas estas condicionantes influenciarão o caudal médio galgado.

Neste trabalho, a aplicação da metodologia de avaliação do grau de risco de galgamento é efetuada num período de dois anos (2011 e 2012), para quatro estruturas ao longo do Porto de Ponta Delgada, nomeadamente, molhe do cais comercial, piscina natural, terminal de cruzeiros e molhe da marina nascente. As secções das estruturas foram escolhidas estrategicamente, devido a estarem localizadas em áreas onde a incidência das ondas é constante, pondo em perigo as atividades desenvolvidas junto delas e, conseqüentemente, conduzir a eventuais interrupções.

4.2 Caracterização geral do local

O Arquipélago dos Açores encontra-se no Oceano Atlântico, hemisfério norte. É um arquipélago transcontinental composto por nove ilhas, divididas em

três grupos dependendo da sua localização: Grupo Oriental (ilhas de Santa Maria e S. Miguel), Grupo Central (ilhas Terceira, Graciosa, S. Jorge, Pico e Faial) e Grupo Ocidental (ilhas das Flores e Corvo), como mostra a Figura 4.1.



Figura 4.1 – Localização das ilhas do Arquipélago dos Açores (Fonte: Google).

Este estudo refere-se ao Porto de Ponta Delgada, situado na costa sul da ilha de São Miguel, com as coordenadas (37°44' N, 25°40' W), apresentando o maior aglomerado populacional, com cerca de 26% da população açoriana, e a principal porta de entrada e saída de pessoas e de mercadorias que, para além de fazer ligação marítima entre as diversas ilhas do arquipélago e o continente, é de extrema importância para o tráfego marítimo mundial. É fundamental referir que dada a sua extensão e estruturação, permite receber *ferryboats* e cruzeiros turísticos de grandes dimensões, estando na rota turística transatlântica.

O porto é abrigado por um molhe principal (Anexo B), a sul de ponta Delgada, designado neste trabalho por molhe do cais comercial, pois no seu tardoz situa-se o cais comercial, dividindo-se em Cais Nacional e Cais NATO, com 900 m acostáveis. A oeste, localiza-se o porto de pesca e o Forte de S. Brás, a norte a Avenida Marginal da cidade, o empreendimento Portas do Mar e o Porto de Recreio de Ponta Delgada (Figura 4.2).



Figura 4.2 – Identificação das diferentes zonas no Porto de Ponta Delgada (adaptado de Silva, 2012).

O porto de pesca (Figura 4.3) é constituído por duas pontes-cais para a amarração de navios de pesca de pequena e média dimensão e uma rampa junto ao cais comercial que possibilita retirá-los para o exterior. Aqui também se localizam armazéns de apoio a embarcações e material de pesca e de apoio à atividade de pesca de cana.



Figura 4.3 – Porto de pesca (extraído de Silva, 2012).

No século XVI, o Forte de S. Brás (Figura 4.4) era a maior fortificação da ilha, destinado à sua defesa contra os ataques de piratas e corsários, atraídos pelas riquezas das embarcações, provenientes da Índia, da África e do Brasil. A partir de 2006 e até aos dias de hoje, esta construção passou a servir de Museu Militar dos

Açores, proporcionando aos utentes um panorama sobre a baía e a visita sobre a história.



Figura 4.4 – Forte de S. Brás (extraído de Silva, 2012).

Toda a zona litoral da cidade é percorrida pela Avenida Marginal (Figura 4.5), onde é possível passear à beira-mar percorrendo a nova Marina de Ponta Delgada, a piscina natural (Anexo C), o complexo de piscinas, a marina Pêro de Teive e o novo Empreendimento Portas do Mar (Anexo D). Na parte interior desta avenida desenvolve-se a via de circulação rodoviária, os espaços para tráfego pedonal, o comércio, os edifícios de empreendimentos de serviços (polícia, correios, etc.) e edifícios de habitação com vários pisos. É onde se localiza o maior aglomerado, tanto de pessoas quanto de automóveis, devido às inúmeras atividades aí praticadas.



Figura 4.5 – Avenida marginal (extraído de Silva, 2012).

O complexo multifuncional (Figura 4.6 e Anexo D), construído em 2008, proporciona uma zona de lazer e de comércio diversificado de maneira a servir os residentes e os que visitam, possuindo diversas áreas, nomeadamente, zona comercial, de restauração, de serviços, zona de estacionamento, uma área de lazer englobando, uma zona de espetáculos e ainda um terminal marítimo. Neste terminal, em forma de T, a frente acostável do cais é repartida em 115 m para *ferryboats* e 250 m para acostagem de navios de cruzeiro e outros navios de pequena dimensão, tendo incorporado uma rampa para o acesso de veículos. Junto a este, encontram-se as piscinas municipais e a piscina natural que já lá existiam antes da construção do complexo. Na zona nascente, junto à marina, existe o Cais de Honra.



Figura 4.6 – Complexo multifuncional Portas do Mar (extraído de Silva, 2012).

No Porto de Recreio (Anexo E), situa-se o edifício de controlo e administração de serviços e apoio, uma piscina de água salgada de dimensões olímpicas, com o respetivo edifício de apoio, e o Clube Naval. Este último tem a possibilidade de atracar 120 embarcações em passadiços flutuantes, englobando também uma rampa varadouro, um equipamento *travel-lift* com capacidade para 25 t, cais de acostagem, de alagem e de abastecimento. Estando abrigado por um próprio molhe, fornece as condições necessárias para se desenvolverem as reparações técnicas de embarcações e as atividades de desporto e lazer aquático.

4.2.1 Caracterização das estruturas marítimas

Molhe do cais comercial

O porto comercial (Anexo B) começou a ser construído em meados do século XIX. No entanto, ao longo do tempo, teve algumas alterações, nomeadamente na estrutura e na amplificação do seu comprimento para 130 m, onde está atualmente situado o farol e a cabeça do molhe.

Inicialmente, todo o molhe exterior estava protegido por tetrápodos. Porém, a ocorrência do temporal de 1996, conduziu a uma obra de reforço da proteção do molhe na zona de ligação do cais NATO ao cais Nacional, onde foram colocados também cubos antifer. O talude interior é constituído por um muro vertical acostável, com aduelas de betão.

Ao longo deste molhe é possível o abastecimento de navios de água potável, combustível e gás natural, o funcionamento da alfândega e serviços do porto e a carga e descarga de mercadorias para distribuição às diversas ilhas.

Apresenta, na sua envolvente, uma área de 3800 m² para contentores e 62 armazéns integrados na superestrutura do molhe. Relativamente ao acesso pedonal, só é permitida a circulação de pessoas que trabalhem no próprio porto, tripulações de embarcações ou indivíduos autorizados. Os veículos de transporte de mercadorias e de tripulação são os únicos que podem circular nesta área.

Neste molhe serão estudados dois pontos (Figura 4.7), um localizado no início do molhe, no cais Nacional, designado por ponto D1, e outro situado perto da cabeça do molhe, no cais NATO, designado por ponto D2.



Figura 4.7 – Localização dos pontos D1 e D2 no molhe do cais comercial (Fotos de D. Djakovic e G. Silva, respectivamente).

Os dois pontos em análise neste molhe manifestam semelhanças não só relativamente às atividades na envolvente (circulação de pessoas autorizadas e de veículos de transporte e mercadorias), mas também na constituição do material do manto (tetrápodos). Contudo o ponto D1, além de apresentar uma berma no tardoz da estrutura muito superior à apresentada no ponto D2 (o que faz com que os barcos que lá possam estar acostados estejam mais salvaguardados quando sujeitos à ocorrência de galgamento), é onde se localizam os barcos de maiores dimensões para a carga/descarga de mercadorias, armazéns e contentores.

É importante realçar que a avaliação do risco de galgamento neste cais é de relevante, dada a variedade das atividades praticadas no seu interior, como já foi referido anteriormente.

Piscina natural

A piscina oceânica (Anexo C) está localizada na Avenida Marginal e apresenta uma estrutura de defesa em tetrápodos, sendo um dos locais de estudo deste trabalho, denominado por ponto D3.

Na Figura 4.8, pode-se ver que é constituído por um edifício de restauração e é usualmente e somente frequentada por pessoas, que de certa maneira podem estar desprevenidas para o eventualmente fenómeno de galgamento, sendo este o motivo de escolha desta secção.



Figura 4.8 – Localização do ponto D3 na Piscina natural (extraído de Silva, 2012).

Terminal de cruzeiros do Complexo Portas do Mar Ao longo dos tempos, a atividade náutica em Ponta Delgada tem vindo a expandir-se, tornando necessária a extensão da marina pré-existente. Assim, em 2008, foi criado o complexo Portas do Mar (Anexo D), que engloba a marina pré-existente e a marina Pêro de Teive e respetivos serviços, as piscinas e o terminal de cruzeiros e de *ferryboats*, em forma de T, permitindo assim à população da ilha e ao turismo usufruir de um espaço diversificado.

O terminal é formado por caixões ao longo do seu comprimento e é um dos pontos de estudo neste trabalho, designado por ponto D4, Figura 4.9.



Figura 4.9 – Localização do ponto D4 no complexo Portas do Mar (extraído de Silva, 2012).

No terminal, a segurança é prioridade 24h sobre 24h, permitindo apenas a entrada e circulação nesta parte do complexo às pessoas e veículos devidamente

autorizados pela Associação Portas do Mar. Contudo, as áreas delazer do complexo são usadas pela população em geral.

O interesse do ponto D4 para este estudo reside no facto de, se a agitação incidente for crítica, poder a mesma causar prejuízos tanto aos meios de transporte, equipamentos e às pessoas que aí circulam, como ao edifício que contempla o empreendimento Portas do Mar.

Molhe da marina nascente

O molhe da marina nascente do porto (Anexo E), também designada por marina Pêro de Teive, construída no início da década de 1990, constitui a proteção da orla marítima adjacente à Avenida Marginal de Ponta Delgada.

Este molhe é constituído por um manto de tetrápodos, sendo uma das suas secções correspondente a um ponto de estudo deste trabalho, ponto D5 (Figura 4.10).



Figura 4.10 – Localização do ponto D5 no molhe da marina Pêro de Teive (Foto de G. Silva).

Este ponto, ao enquadrar o clube naval, faz com que a sua envolvente abranja os veículos estacionados ou em circulação e barcos atracados ou em reparação. Relativamente à circulação pedonal, neste ponto existe menos controle que no molhe do cais comercial, pois para além de incluir os utentes do clube naval, tem maior aglomeração de pessoas que podem eventualmente transpor a vedação existente, pois está localizado a este do porto, no final da Avenida Marginal, onde se situa alguma restauração.

4.3 Dados utilizados

Nesta Secção são descritos os dados necessários para a realização deste estudo, fornecidos por entidades externas.

4.3.1 Dados do WWIII

A partir do modelo WAVEWATCH III (Tolman, 1991) prevêem-se as condições de agitação marítima para o Oceano Atlântico, nomeadamente ao largo da Ilha de São Miguel, nas coordenadas geográficas de latitude 37.70°N e longitude 25.75°W (Figura 4.11). Os valores de H_{m0} (altura significativa espectral), T_p (período de pico) e θ_m (direção média da onda para o período de pico) obtidos de seis em seis horas para o período de dois anos (2011 e 2012) constituem o *input* para o modelo SWAN.

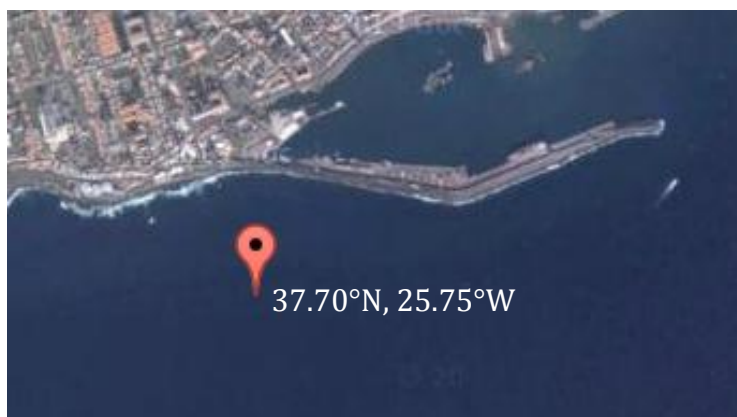


Figura 4.11 – Localização do ponto introduzido no WWIII (Fonte: Google).

4.3.2 Dados de maré

Os dados da maré no período considerado foram cedidos pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) (Antunes, 2011), com base em análises harmónicas de várias séries de observações maregráficas de duração variável do IH. Os dados adquiridos foram simplificados para um intervalo de seis em seis horas, correspondente ao intervalo em que se têm disponíveis os dados do WWIII.

No entanto, como as previsões se referem apenas à variação da maré astronómica no local, é necessário adicionar-lhes uma sobrelevação (*storm surge*). Este acréscimo representa o efeito das condições meteorológicas que levam à subida temporária do nível do mar, sendo obtido pela diferença entre o nível do mar observado (medido por marégrafo) e o nível de maré astronómica prevista.

Na ausência de dados maregráficos e informação sobre a variação da sobrelevação no período considerado, adotou-se um valor constante ao longo do tempo de 0,40 m, valor usualmente aplicado em projetos referentes ao Arquipélago dos Açores (Silva, 2012).

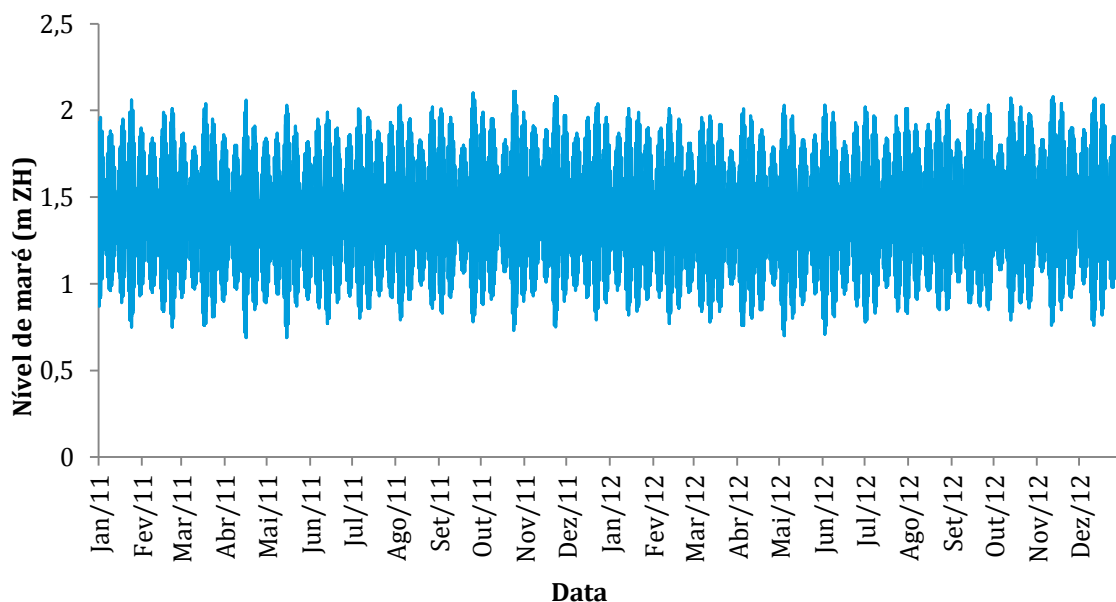


Figura 4.12 – Variação da maré nos dois anos considerados com o acréscimo de 0,40 m relativo à sobrelevação meteorológica.

No intervalo de tempo ilustrado na Figura 4.12, o nível de maré em relação ao plano do Zero Hidrográfico (ZH) varia entre 0,69 m e 2,11 m.

4.3.3 Dados da boia ondógrafo

Como já foi referido anteriormente, a região em estudo está situada no meio do Oceano Atlântico Norte, fazendo com que se torne imprescindível o conhecimento dos regimes da agitação marítima nessa zona.

Para tal, o projeto CLIMAAT (Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos) (Azevedo *et al.*, 2008), criado pelo Observatório do Ambiente dos Açores, conjuntamente com a Universidade dos Açores e o Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, permitiu a disponibilização de um sistema integrado de monitorização de dados meteo-oceanográficos, com implantação de um conjunto de boias ondógrafo direcionais Datawell, no Arquipélago dos Açores (Figura 4.13a).

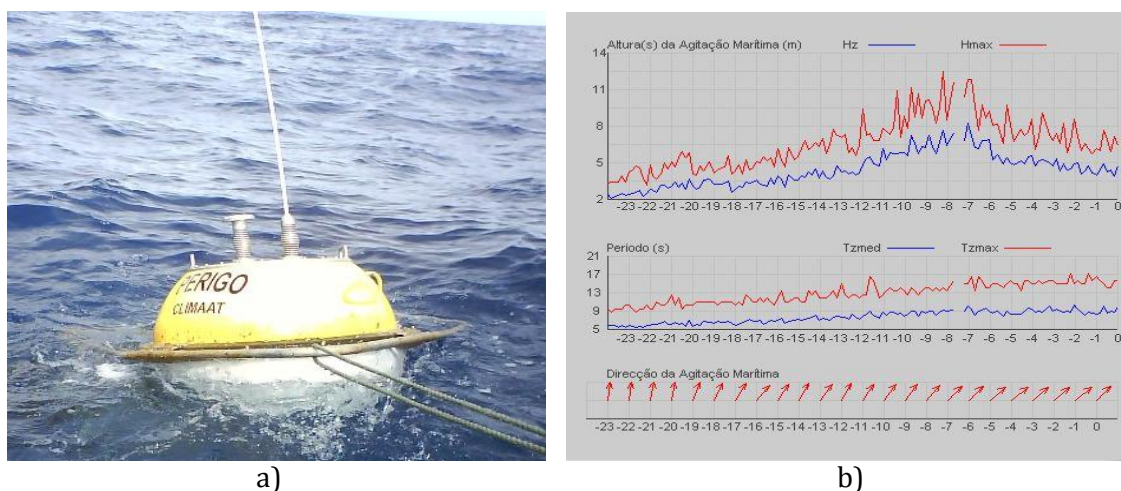


Figura 4.13 – a) Boia ondógrafo e b) dados adquiridos pela mesma em 22-03-2012 (Fonte: CLIMAAT).

As boias ondógrafos permitem obter as informações relativas às características das ondas (Figura 4.13b), especificamente a altura significativa (H_s) e altura máxima (H_{max}), o período médio (T_{med}) e período máximo (T_{max}) e a direcção de propagação das ondas, que são transmitidas via rádio para uma estação recetora em terra, usualmente localizada próxima da sua posição e que é responsável pela aquisição, descodificação e armazenamento de tais dados.

Posteriormente, estes dados são enviados para a sede do IH por *modem*, onde são processados e armazenados numa base de dados para poderem ser disponibilizados para consulta.

As boias são equipadas com um sistema de posicionamento global (GPS) para controlo da sua posição e de um sensor de medição da temperatura da água à superfície.

A reparação, a substituição, a agressão natural (tempestade marítima) ou humana ou a dificuldade na comunicação telemétrica com uma boia levam à sua inoperacionalidade, fazendo com que haja a ausência e/ou atrasos na atualização de dados.

Os dados adquiridos por boias permitem a calibração/validação dos resultados obtidos pelos modelos numéricos de previsão e propagação de ondas, neste caso do modelo SWAN.

Assim, para a caracterização da agitação marítima no local em estudo, recorreu-se aos dados de agitação marítima da boia ondógrafo designada por “Bond 2”, localizada ao largo do Porto de Ponta Delgada (Figura 4.14), apresentando as seguintes coordenadas esféricas e cartesianas: $37^{\circ}43.53'N$, $25^{\circ}43.28'W$ e M, P (612688.09; 4176197.78). Dado estar de momento em manutenção, só foi possível a aquisição de dois meses de dados, relativamente ao período de 1 de abril a 31 de maio de 2012.



Figura 4.14 – Localização da boia ondógrafo “Bond 2”(Fonte: Google).

De entre os dados de agitação recolhidos no local por este equipamento de medição, só foram estudados ao longo desta dissertação três parâmetros, que estão ilustrados nas Figuras 4.15, 4.16 e 4.17. A periodicidade dos dados é variável ao longo do tempo.

Para o período de dois meses analisado, a altura significativa varia entre 0,32 m e 5,47 m, o período de pico entre 3,1 s e 25 s e a direção média entre 111° e 323° , sendo a agitação mais frequente vinda essencialmente de noroeste.

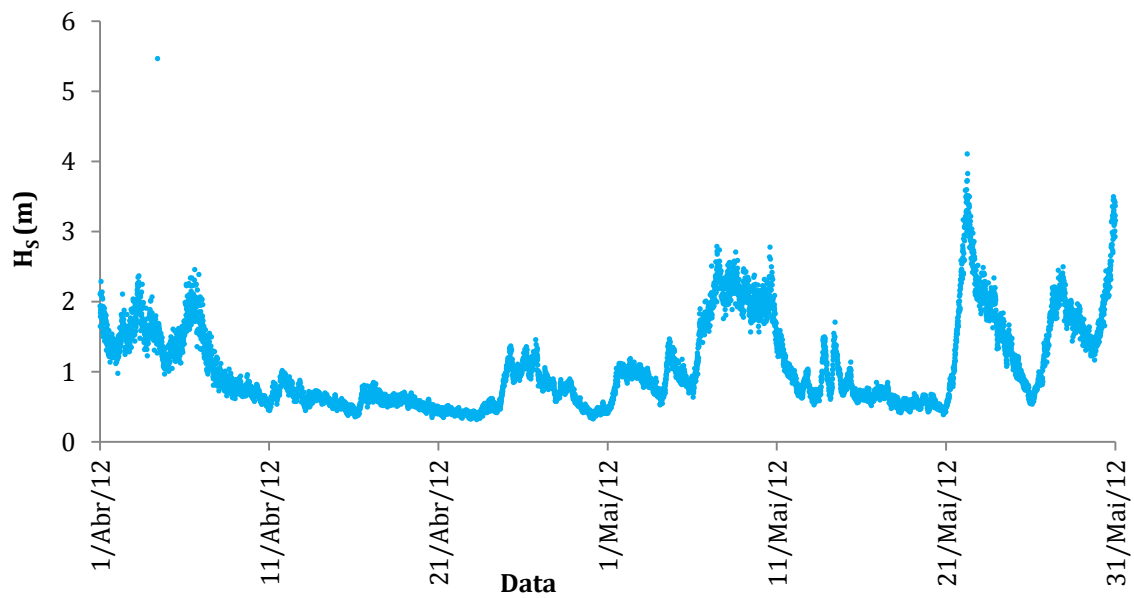


Figura 4.16 – Dados da boia referentes à altura significativa H_s .

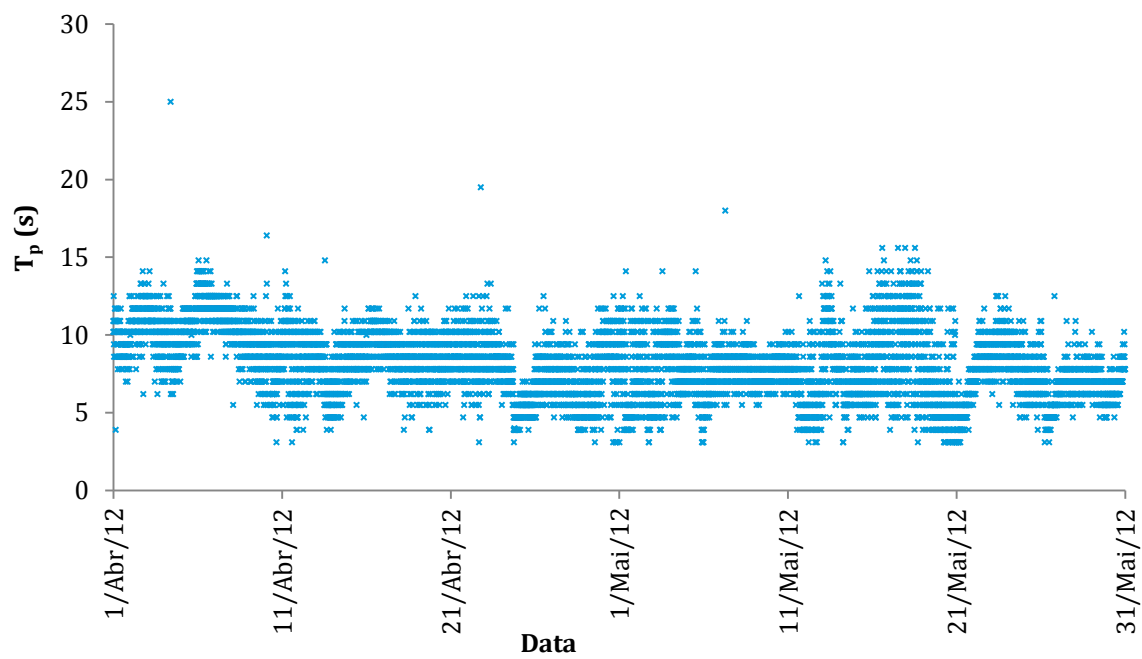


Figura 4.15 – Dados da boia referentes ao período de pico T_p .

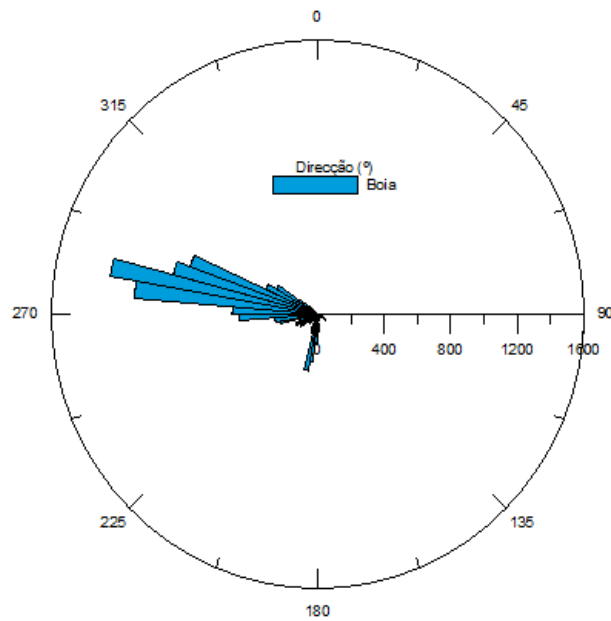


Figura 4.17 – Dados da boia referentes à direção θ_m .

4.3.4 Geometria das secções

Como já foi referido anteriormente, o presente trabalho analisa cinco zonas enquadradas no Porto de Ponta Delgada, em que a análise do perfil transversal de cada estrutura é essencial para definir os parâmetros de entrada na ferramenta NN_OVERTOPPING a fim de obter o caudal médio de galgamento.

Como se pode observar nas figuras seguintes, em cada uma das zonas consideradas encontra-se um quebramar de talude, constituído por um manto resistente de tetrápodos ou cubos antifer, que possibilita a criação de uma zona abrigada, servindo de obstáculo à propagação normal da agitação marítima, possibilitando a dissipação e reflexão da energia das ondas.

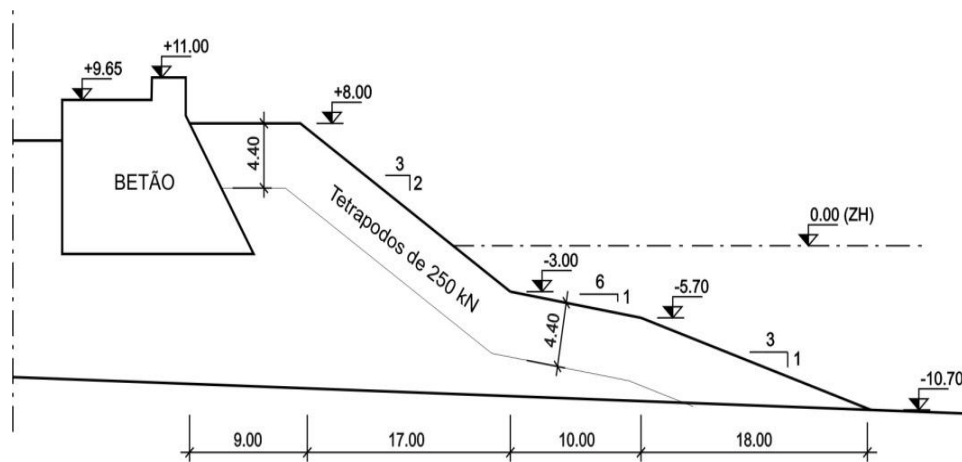
A seguir, serão apresentados os perfis-tipo de cada secção em estudo. Nos Anexos F a I, apresentam-se as plantas e os cortes relativos às estruturas analisadas.

Ponto D1 – Molhe do cais comercial

O perfil do molhe do cais comercial (Figura 4.18), no cais Nacional, exibe um manto resistente constituído por tetrápodos de 250 kN, de espessura 4,40 m, com inclinação de 3/2 entre +8,0 m (ZH) e -3,0 m (ZH), de 6/1 entre -3,0 m (ZH) e -5,70 m (ZH) e de 3/1 até atingir -10,70 m (ZH). A superestrutura apresenta o coroamento à cota +11,0 m (ZH) e a cota da berma de coroamento é +8,0 m (ZH), com uma largura de 9,0 m.



a)



b)

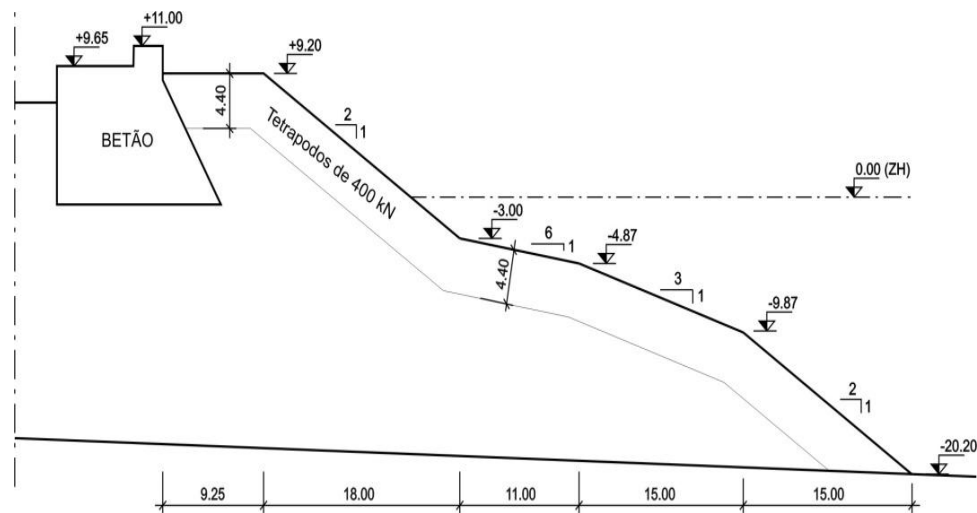
Figura 4.18 – a) Molhe do cais comercial no ponto D1 e b) respetiva secção transversal (Anexo F).

Ponto D2 – Molhe do cais comercial

A estrutura do molhe do cais comercial, localizado no cais NATO, no ponto D2 (Figura 4.19) apresenta um talude com várias inclinações, respetivamente de 2/1 de +9,20 m (ZH) a -3,0 m (ZH) e de 6/1, 3/1 e 2/1 até ao fundo natural. O manto é composto por tetrápodos, desde o fundo natural até à cota +9,20 m (ZH). A cota de coroamento da superestrutura é de +11,0 m (ZH) e da berma de coroamento de +9,20 m (ZH), com 9,25 m de largura.



a)



b)

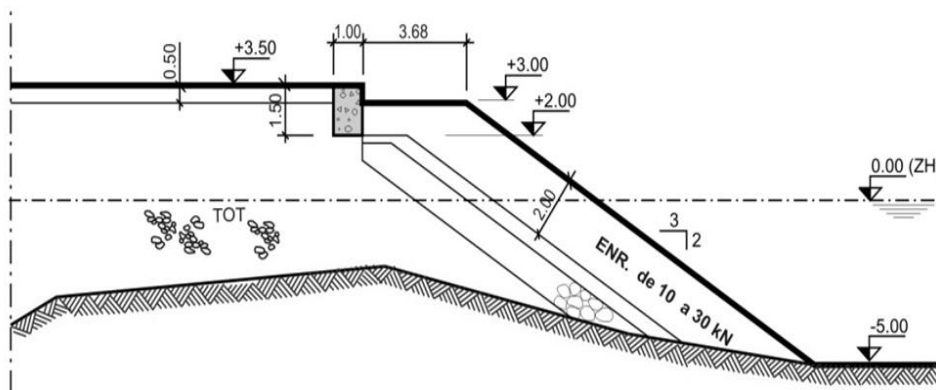
Figura 4.19 – a) Molhe do cais comercial no ponto D2 e b) respetiva secção transversal (Anexo F).

Ponto D3 – Piscina natural

A estrutura de defesa da piscina natural (Figura 4.20) apresenta um manto de enrocamento² de 10 a 30 kN, com 2 m de espessura e talude de inclinação 3/2, fundado a -5,0 m (ZH). A cota de coroamento do muro cortina é de +3,5 m (ZH) e a berma de coroamento, à cota +3,0 m (ZH), tem uma largura de 3,68 m.



a)



b)

Figura 4.20 – a) Piscina natural e b) respetiva secção transversal (Anexo G).

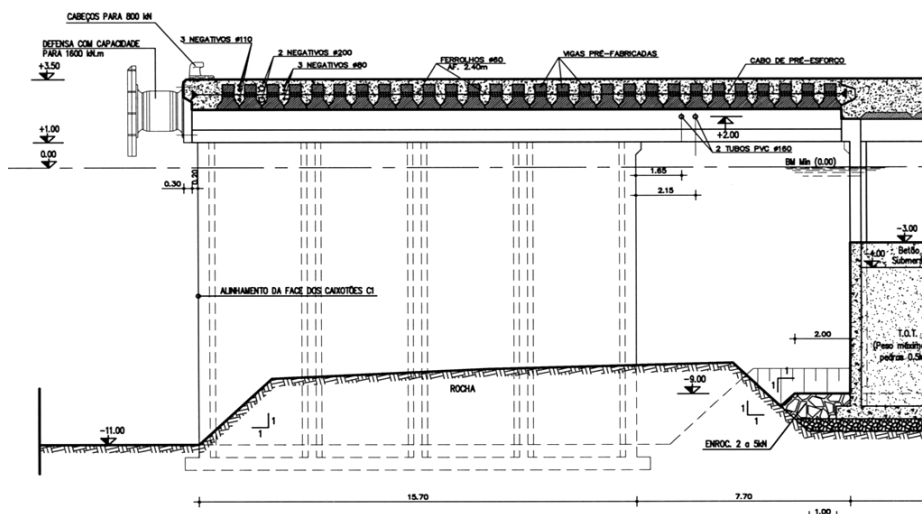
² Constituído por material rochoso, com a finalidade de proteção do talude contra a erosão.

Ponto D4 – Terminal de cruzeiros do Complexo Portas do Mar

O terminal de cruzeiros assenta sobre caixotões de betão (Figura 4.21), fundados em rocha no fundo natural à -11 m (ZH), com cota de coroamento $+3,5$ m (ZH), sobre os quais assenta a viga de coroamento com $2,5$ m de espessura. A finalidade da utilização de caixotões, além da sua função estrutural, é permitir a dissipação da energia da agitação marítima, pelo que são perfurados com células interiores vazadas, que podem ser total ou parcialmente preenchidas por agregado. A defesa e o cabeço de amarração, ilustrados no perfil, serão ignorados para facilitar o cálculo posterior do caudal médio galgado.



a)



b)

Figura 4.21 – a) Terminal de cruzeiros e b) respetivo perfil transversal (Anexo H).

4.4 Agitação marítima

Uma vez que se pretende avaliar o risco associado ao galgamento de estruturas portuárias, é necessário efetuar a caracterização da agitação marítima na zona de entrada e no interior do porto.

Para a aquisição da agitação marítima nas zonas exteriores e interiores do Porto de Ponta Delgada, foi necessário recorrer a vários modelos numéricos de propagação da agitação marítima, dado a vasta área a modelar e a variabilidade das profundidades da zona em estudo.

Com base nas estimativas fornecidas pelo modelo regional de previsão da agitação marítima ao largo dos Açores WAVEWATCH III (Tolman, 1991), efetuou-se a propagação desta até à entrada do porto com o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999) e a posterior propagação dos dados para o interior do porto com o modelo DREAMS (Figura 4.23).

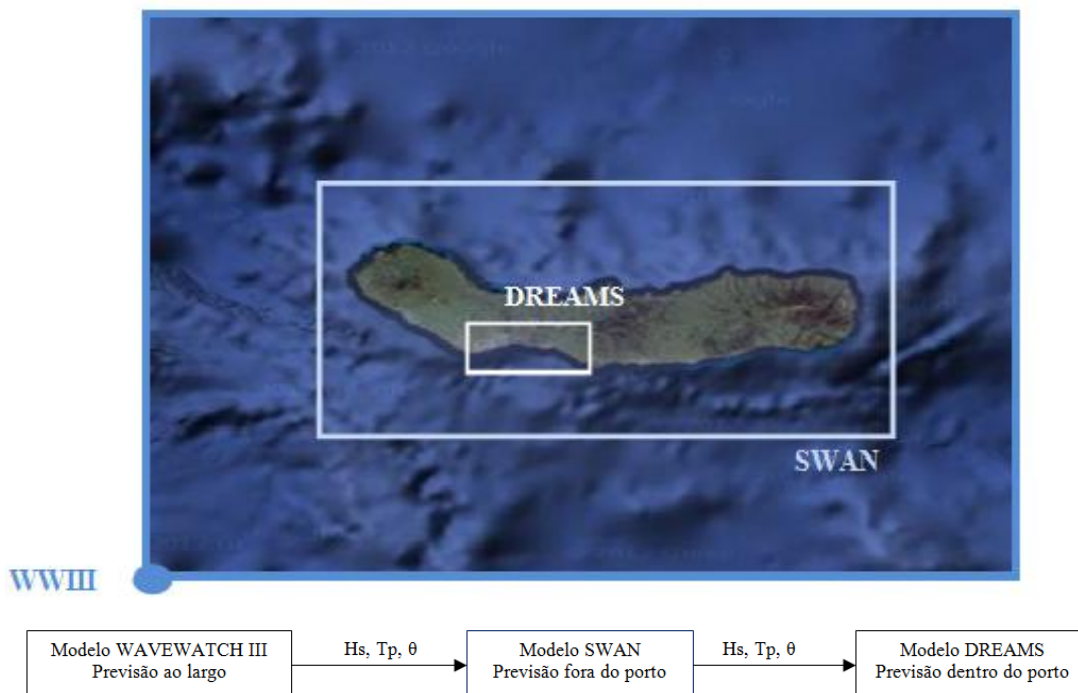


Figura 4.23 – Esquematização da gama dos modelos numéricos e metodologia da transferência do regime de agitação marítima do largo para o interior do porto.

4.4.1 Modelo SWAN

4.4.1.1 Condições de aplicação do modelo e domínio de cálculo

A aplicação deste modelo, como já referido anteriormente, é baseada na equação espectral do balanço de energia (Booij *et al.*, 1999), permitindo a propagação do espectro desde o largo até à entrada do porto.

Uma das preocupações na utilização deste modelo deve-se ao demorado tempo de cálculo, sendo que quanto maior o domínio de cálculo, o número de malhas encaixadas ou o número de fenómenos considerados na propagação das ondas, mais demorado se torna.

Para implantação deste modelo no Porto de Ponta Delgada foi necessário seguir os seguintes passos:

- Inserir a malha batimétrica da zona a modelar;
- Implantar a malha espacial;
- Definir as variáveis de entrada: introdução de dados referentes às condições de agitação ao largo dos Açores adquiridos a partir do WWII, os campos dos ventos, as correntes e as marés.

A batimetria é uma informação básica para o funcionamento do modelo, tendo sido adquirida à escala 1:100000 com base na informação fornecida pela Carta Náutica nº 46406 do IH (Anexo J) e ilustrada na Figura 4.24 com o auxílio do programa comercial Tecplot™.

Neste estudo a atuação do vento não foi considerada devido a não ter sido obtida em tempo útil. A ilha de São Miguel, Açores, estando localizada no meio do Atlântico Norte, torna-se a primeira Região Europeia sujeita à influência dos sistemas frontais provenientes da América do Norte, predominando os ventos de nordeste e norte (Silva, 2012; Silva *et al.*, 2012). Em suma, a não aplicação deste factor influenciará os resultados obtidos, visto o vento provocar um agravamento da agitação marítima, podendo eventualmente aumentar os prejuízos nas infraestruturas portuárias.

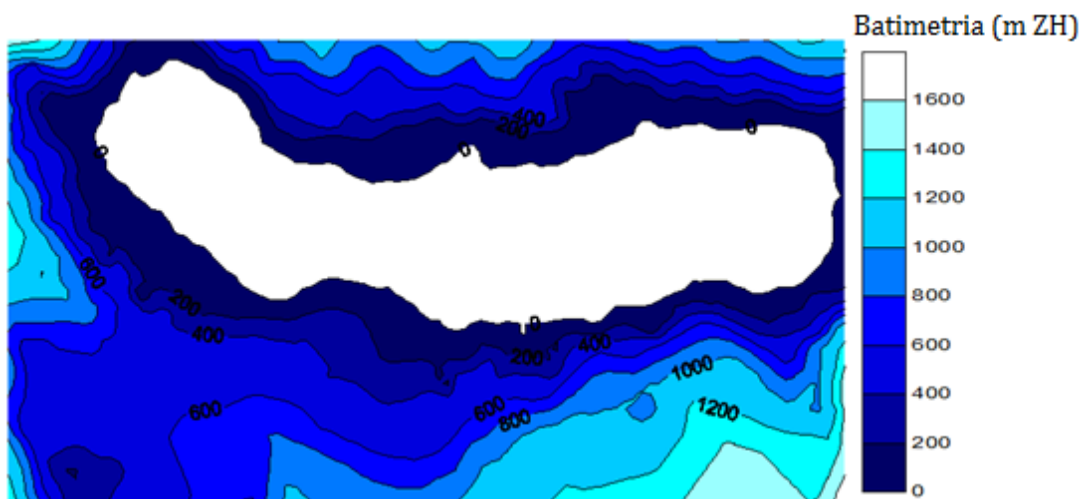


Figura 4.24 – Batimetria da ilha de S. Miguel, Açores (obtida pelo Tecplot™).

Quanto ao domínio computacional do modelo SWAN, utilizaram-se as duas malhas retangulares definidas por Silva (2012), de modo a obter uma maior exatidão nos resultados fornecidos pelo modelo em todo o domínio considerado (Silva, 2012; Silva *et al.*, 2012). A malha maior (*main grid*) abrange toda a ilha de São Miguel, tendo como dimensões 71,0 km × 38,5 km e elementos quadrangulares com resolução de 500 m. A malha menor (*nested grid*), dentro da malha principal, engloba a zona do porto e apresenta dimensões de 22,5 km × 13,2 km, tendo uma resolução de 100 m (Figura 4.25 e Quadro 4.1).

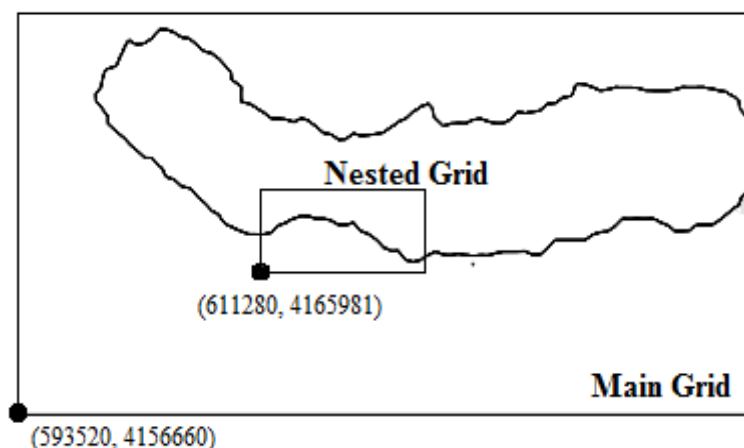


Figura 4.25 – Limitação das malhas utilizadas no modelo SWAN.

Os cálculos foram efetuados utilizando a versão SWAN 40.72, em regime estacionário, sem aplicação de correntes e ventos. Considerou-se um único processo, a difração, devido a ser o mais importante. Não foram tidos em conta a

fricção, por se tratar de zonas de águas profundas, e a interação onda-onda tripla e quádrupla, devido à inexistência de vento.

Quadro 4.1 – Resumo das características das malhas adotadas no modelo SWAN (Silva, 2012).

Parâmetros do modelo SWAN	Malhas adotadas	
	Main Grid	Nested Grid
X inicial	593520	611280
Y inicial	4159660	4165981
Comprimento total em X (m)	71000	22500
Comprimento total em Y (m)	38500	13200
ΔX (m)	500	100
ΔY (m)	500	100
Número de elementos na direção X	142	225
Número de elementos na direção Y	77	132

O modelo SWAN foi calibrado assumindo o espectro de JONSWAP (Hasselmann et al., 1973) e a direção foi definida por intervalos de 10° para uma discretização de 0° a 360°. A discretização em frequência do espectro da agitação ao longo do domínio foi de 0,04 Hz a 0,5 Hz, com distribuição logarítmica.

Relativamente aos dados referentes às condições de agitação ao largo dos Açores introduzidas no modelo SWAN, estes foram obtidos pelo modelo WWIII, para um período de dois anos de seis em seis horas (Poseiro, 2013). Um exemplo de parte destes dados é ilustrado no Anexo K.

Foram definidos dois pontos de estudo (Figura 4.26) para obtenção de resultados no modelo SWAN, no período de 1 de janeiro de 2011 a 31 de dezembro de 2012 (730 dias): o ponto P1, localizado na boia ondógrafo “Bond 2”, com coordenadas M, P (612688.09, 4176197.78), com cota batimétrica aproximada de 98 m (ZH); e o ponto P2, na zona exterior do Porto de Ponta Delgada, de coordenadas M, P (616493.23, 4176032.00) e cota batimétrica de 40 m (ZH).

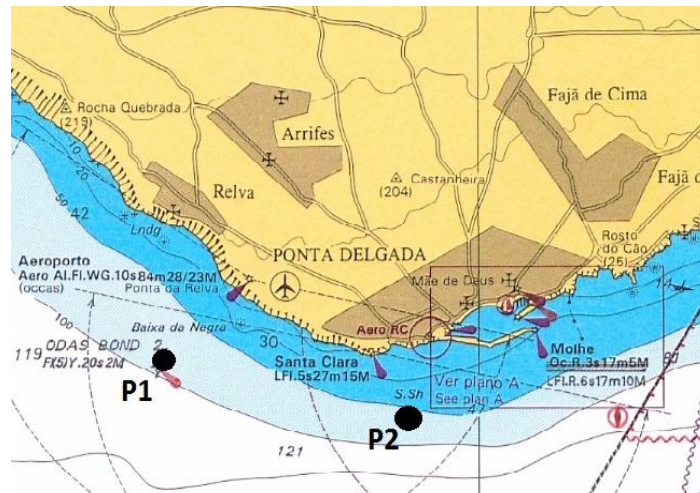


Figura 4.26 – Localização dos pontos P1 e P2 (Silva, 2012).

De entre os vários resultados obtidos pelo modelo SWAN, destacam-se os valores de altura significativa, os períodos de pico e médio e as direções de pico e média, sendo alguns destes parâmetros posteriormente utilizados no modelo DREAMS.

Os resultados adquiridos pela simulação deste modelo para os dois pontos do domínio anteriormente mencionados têm como finalidade:

- A avaliação dos resultados referentes à agitação marítima, nomeadamente altura significativa, período de pico e direção média na coordenada da boia, ponto P1, e sua comparação com dados medidos *in situ*;
- Obtenção dos dados referentes ao ponto localizado em frente do porto, ponto P2, para serem posteriormente utilizados no modelo DREAMS.

4.4.1.2 Comparação dos resultados do modelo SWAN com os dados *in situ*

A análise apresentada nesta secção tem como intuito a avaliação dos resultados do modelo SWAN através da sua comparação com dados da boia ondógrafo, no período de 1 de abril a 31 de maio de 2012.

Para tal, a análise gráfica incidirá sobre os parâmetros da agitação que têm sido mencionados e, sendo o intervalo de tempo dos dados da boia variável,

procedeu-se à filtragem para o período de seis em seis horas, para se poder efetuar a comparação.

Na Figura 4.27, verifica-se que a variação de H_s para o modelo SWAN é de 0,0138 a 2,64 m e, para a boia, de 0,38 m a 3,73 m.

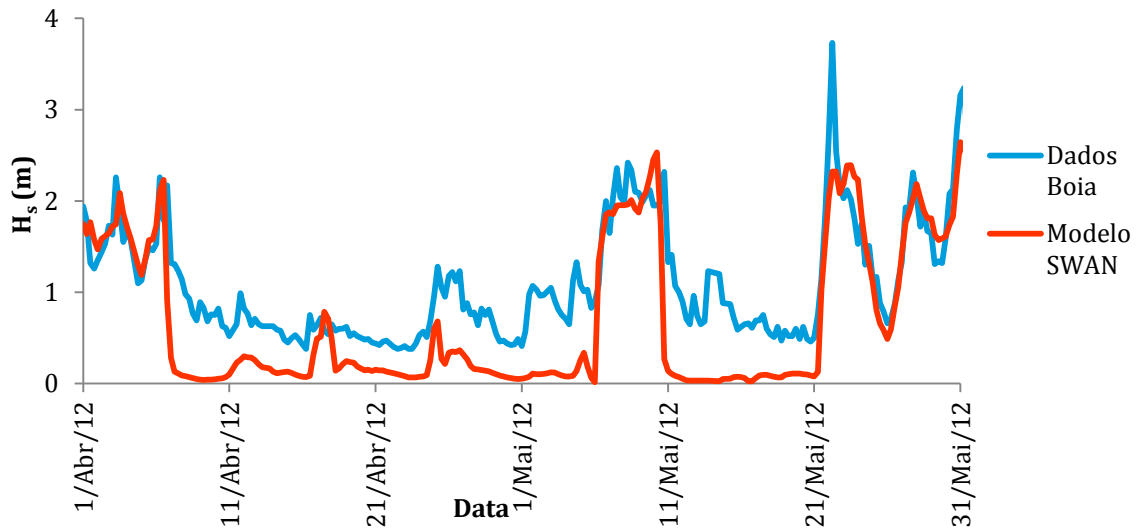


Figura 4.27 – Comparação dos resultados obtidos pelo modelo SWAN para a altura significativa H_s com as medições da boia.

O período de pico varia de 6 s a 11,4 s para o SWAN, e de 3,1 s a 13,3 s para a boia ondógrafo (Figura 4.28).

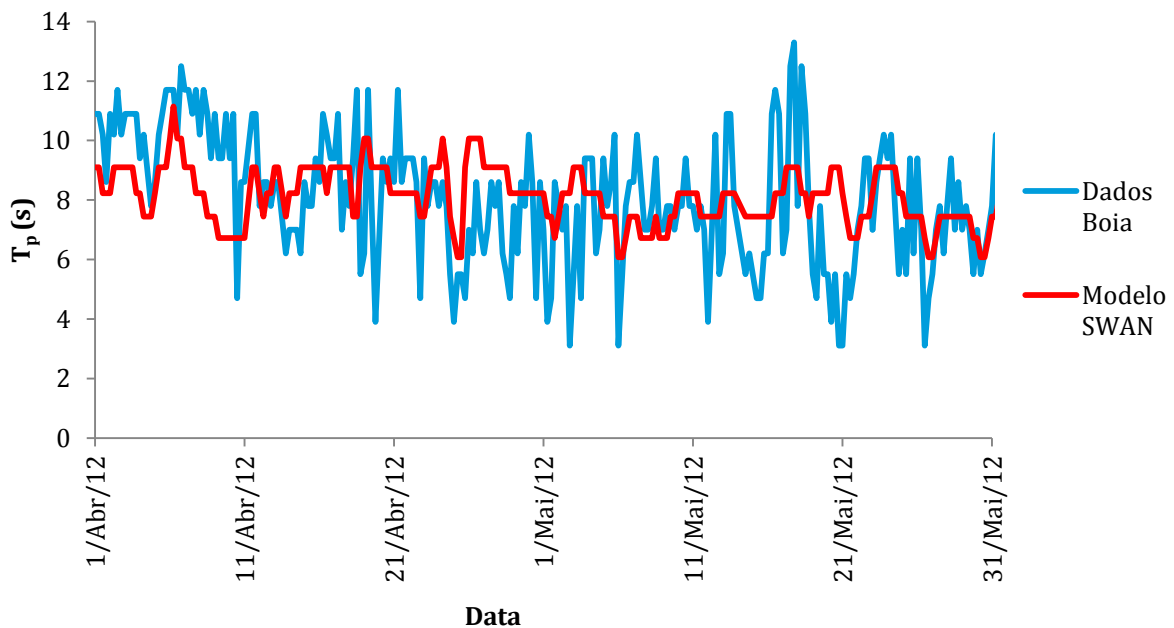


Figura 4.28 – Comparação dos resultados obtidos pelo modelo SWAN para o período de pico T_p com as medições da boia.

Relativamente à direção média esta é essencialmente de noroeste, tanto no modelo numérico, onde varia de 85,3° a 314°, quanto na boia ondógrafo, onde varia de 121° a 312° (Figura 4.29). Contudo, é neste parâmetro que se observa maior discrepância entre os dois métodos de obtenção da agitação. Numa análise mais aprofundada, verifica-se uma diferença máxima entre eles de 187,94°, sendo que a diferença média é relativamente baixa, de 23,88°.

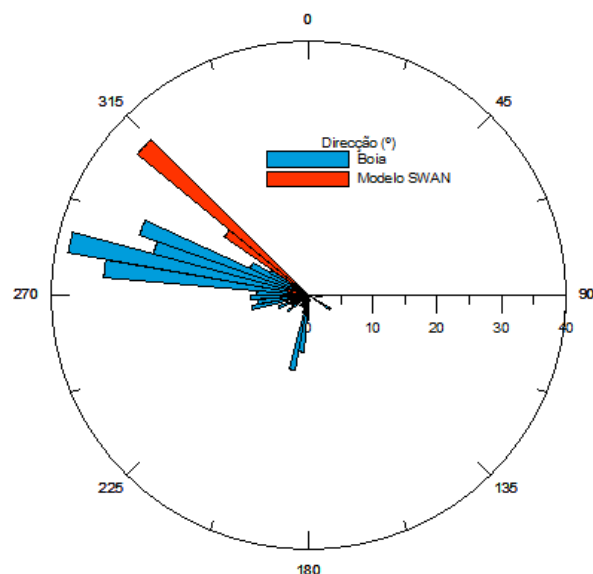


Figura 4.29 – Comparação dos resultados obtidos pelo modelo SWAN para a direção média θ com as medições da boia ondógrafo.

No Anexo L, apresenta-se um quadro que permite ter uma melhor perspectiva dos valores obtidos, quer para a boia quanto para o modelo SWAN, bem como as diferenças entre eles para as variáveis em análise.

Apesar de alguma discrepância entre os resultados do SWAN e os dados da boia, pode-se concluir que o modelo SWAN consegue representar satisfatoriamente as condições de agitação preponderantes nesta zona. Assim, poder-se-ão tornar válidos os resultados obtidos para o ponto P2, localizado perto do molhe, que serão usados como parâmetros de entrada no modelo DREAMS. No entanto, a consideração de um campo de ventos seria essencial para a obtenção de valores mais próximos da realidade.

Comparativamente com os resultados obtidos no estudo realizado por Silva (2012), no qual os pontos em questão são os mesmos utilizados nesta dissertação, porém para um período de tempo menor, nomeadamente de 20 de

abril a 22 de maio de 2012, observa-se que a discrepância entre os resultados do modelo SWAN e os dados da boia ondógrafo é maior neste estudo, em especial para a altura significativa e para a direção média. Convém referir que o anterior estudo considerava a ação do vento e um nível de maré constante e igual ao nível médio de +1,4 m (ZH), condições estas não utilizadas neste estudo, o que poderá explicar a maior diferença entre os dois métodos de caracterização da agitação marítima.

4.4.1.3 Resultados do modelo SWAN para a zona exterior do porto

Como se mostra nas Figuras 4.30 a 4.32, também foram obtidos os parâmetros de agitação para a zona próxima do porto (ponto P2), no espaço temporal de dois anos, dados estes que foram posteriormente introduzidos no modelo DREAMS (Anexo M).

Para este ponto, H_s exibe um máximo de 4,54 m e uma média de 0,71 m. O período de pico apresenta valores no intervalo entre 4,7s e 15,1 s e a direção média é usualmente de noroeste.

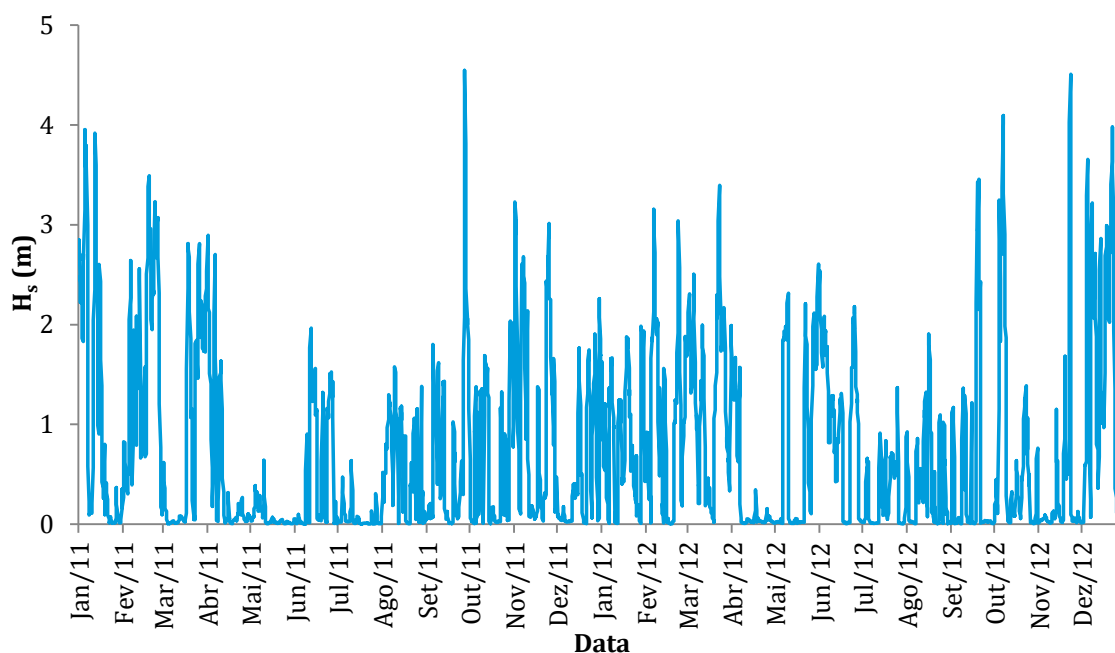


Figura 4.30 – Série temporal da altura significativa obtida pelo modelo SWAN para o ponto P2.

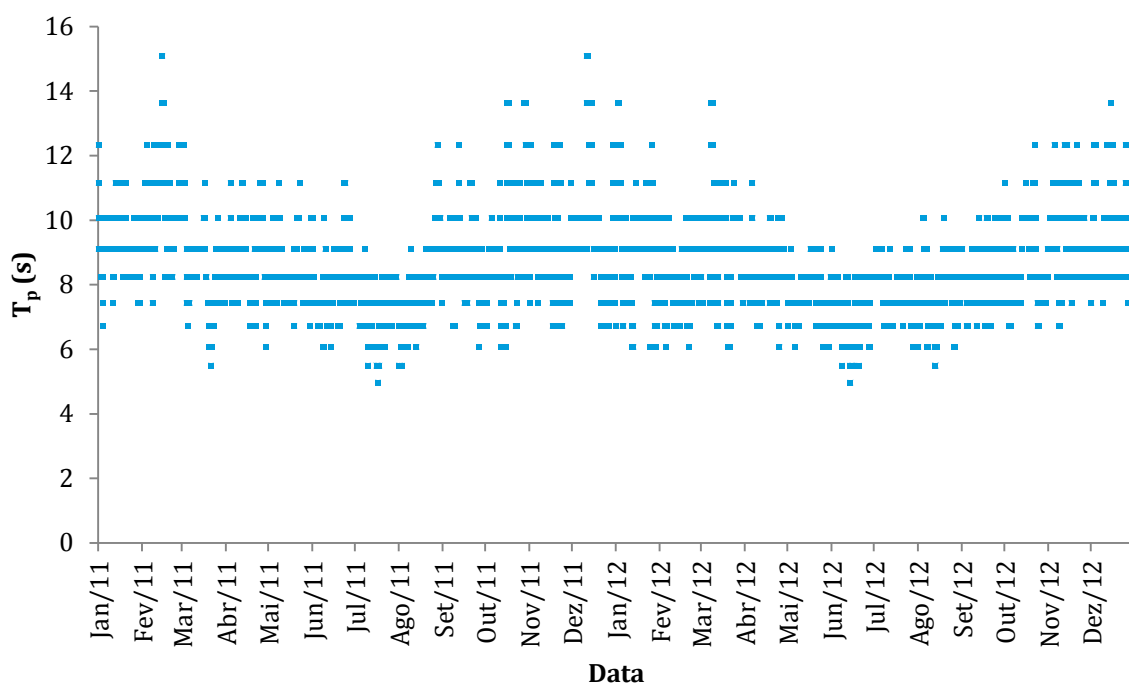


Figura 4.31 – Série temporal do período de pico obtido pelo modelo SWAN para o ponto P2.

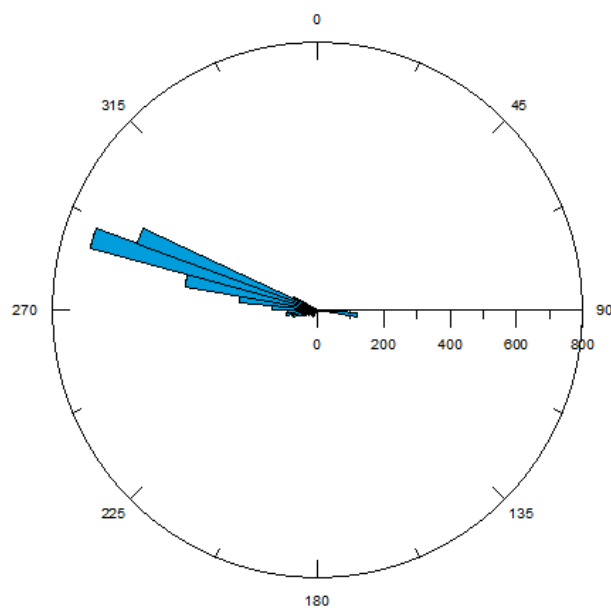


Figura 4.32 – Direção média obtida pelo modelo SWAN para o ponto P2.

Uma vez que estes resultados serão posteriormente utilizados como dados de entrada no modelo DREAMS, o Quadro 4.2 servirá de auxílio para a definição dos intervalos do domínio de cálculo.

Quadro 4.2 – Intervalos dos vários parâmetros da agitação marítima obtidos pelo modelo SWAN.

Parâmetro	Mínimo	Máximo
Altura significativa (m)	0,0015	4,54
Período de pico (s)	4,69	15,08
Direção da onda (°)	4,05	343,96

4.4.2 Modelo DREAMS

O modelo DREAMS efetua a propagação da agitação marítima desde a entrada do Porto de Ponta Delgada até ao seu interior, em que os processos de refração, difração e reflexão são importantes.

4.4.2.1 Condições de aplicação do modelo e domínio de cálculo

Para a aplicação do modelo DREAMS é necessário:

- Construir a malha de elementos finitos;
- Definir o domínio de cálculo e as características das diferentes fronteiras;
- Estabelecer as condições de agitação marítima à entrada do domínio.

Para a discretização da zona, utilizou-se a malha de elementos finitos criada no LNEC para o anterior estudo de Silva (2012), obtida pelo software GMALHA (Pinheiro *et al.*, 2008) e baseada nas condições de fronteira e na batimetria da zona em estudo, idêntica à utilizada no modelo SWAN (Figura 4.33).

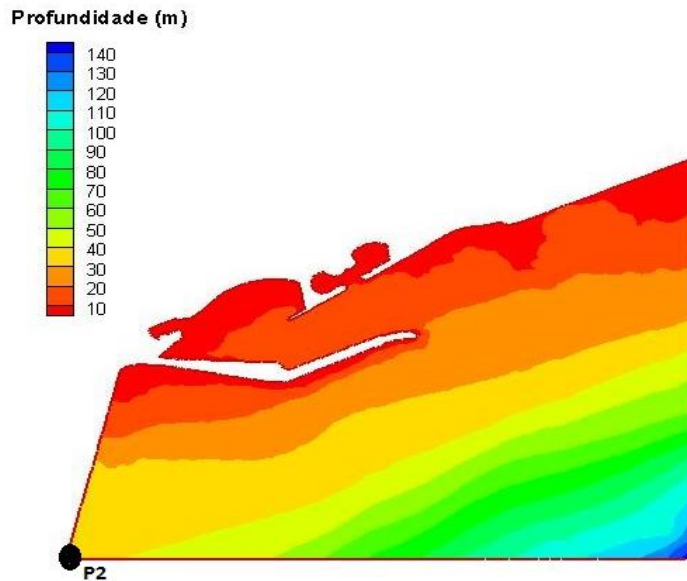


Figura 4.33 – Batimetria do Porto de Ponta Delgada utilizada no modelo DREAMS e localização do ponto P2 do modelo SWAN .

O domínio de cálculo engloba o interior do porto até a zona exterior, ponto P2 definido no modelo SWAN. Há que salientar que o domínio definido não foi muito vasto para não ser necessário um grande esforço computacional.

Outro parâmetro indispensável para o funcionamento deste modelo é a definição das condições de fronteira, tendo sido, neste caso, definidas duas fronteiras:

- Os locais de entrada das variáveis de agitação marítima, designadas de fronteiras marítimas, sendo definidas pelos valores resultantes do modelo SWAN, ponto P2;
- As fronteiras terrestres, que dizem respeito aos trechos que circunscrevem o porto, onde são impostos coeficientes de reflexão.

A Figura 4.34 apresenta, no lado esquerdo, a agitação vinda do quadrante sudeste (de 90° a 180°), tendo como fronteiras de entrada (geração das ondas) as fronteiras este e sul, e de saída (radiação) a oeste. No lado direito, no quadrante sudoeste (de 180° a 270°), considerou-se como fronteiras de entrada as fronteiras oeste e sul e de saída a este. No lado direito, no quadrante sudoeste (de 180° a 270°), considerou-se como fronteiras de entrada as fronteiras oeste e sul e de saída a este.

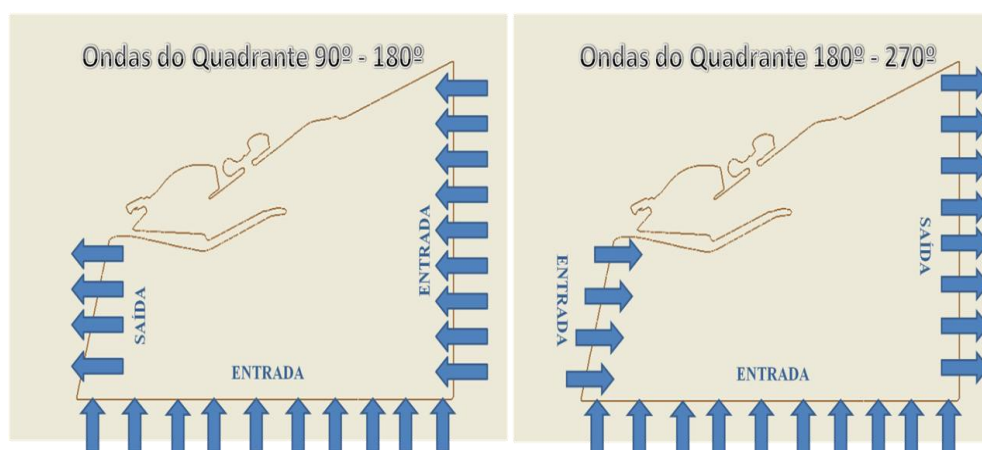


Figura 4.34 – Fronteiras marítimas definidas no modelo DREAMS (extraído de Silva, 2012).

Para atribuição dos coeficientes de reflexão é necessário o conhecimento de vários parâmetros, como: a altura de água no pé da estrutura, a inclinação do fundo, o tipo de quebramar, a inclinação do talude, o diâmetro do material do manto e o número de camadas do manto. Os coeficientes de reflexão são obtidos para cada um dos períodos considerados na simulação DREAMS. Porém, dada a variedade das fronteiras, simplificou-se ao máximo as zonas com características parecidas em relação às fronteiras, sejam de retenção de agregados, tetrápodos, cubos antifer, muro vertical, rampas, etc. (Silva, 2012).

Para o cálculo dos coeficientes de reflexão foi utilizada a metodologia de Seeling e Ahrens (1981) (Fernández, 2011; Magalhães, 2007, *apud* Silva, 2012) para os trechos do porto que correspondem a praias, rampas ou taludes lisos. Já no terminal de cruzeiros, como se trata de uma estrutura diferente (pilares perfurados), foi adotado o valor referido por Fernandes *et al.* (2003) (adaptado de Silva *et al.*, 2012).

Assim, para a obtenção desses coeficientes, dividiu-se a fronteira marítima em segmentos (Figura 4.35), de modo a poderem caracterizar-se as propriedades refletoras de cada segmento de estrutura circundante do porto.

Todas as 19 zonas marcadas na Figura 4.35 a seguir estão discriminadas no Anexo N. Perante os diferentes tipos de margem e para cada período considerado no modelo, apresentam-se os respetivos coeficientes de reflexão e de absorção (Silva, 2012).



Figura 4.35 – Divisão da fronteira em diferentes tipos de margens para o cálculo dos coeficientes de reflexão (adaptado de Silva, 2012).

No que se refere às condições de agitação marítima no período considerado de dois anos, foi necessária a criação de dois ficheiros, que diferem apenas no primeiro parâmetro: um apresenta a variação do nível do mar, obtida pela previsão hidrográfica, e o outro H_s , calculado no modelo SWAN para o ponto P2. Os restantes dois parâmetros são referentes ao período de pico e à direção média no ponto P2.

Os intervalos de valores de T_p , θ_m e nível de maré impostos no modelo DREAMS foram determinados tendo em conta os valores máximos e mínimos obtidos pelo modelo SWAN (definidos no Quadro 4.2), de forma a abranger os períodos e direções que poderão atuar no porto. Relativamente à altura de onda, dado este ser um modelo linear, este parâmetro é unitário (1 m) e idêntico para todos os cálculos.

Relativamente aos intervalos adotados no modelos DREAMS para o cálculo da agitação, apesar do período de pico apresentado pelo modelo SWAN ser 4,69 s, apenas se adotará como período mínimo 6 s, devido à malha não ter resolução suficiente, variando assim entre 6 s a 20 s, com 2 s de intervalo. Também no que diz respeito à direção média, será somente adotado o valor mínimo de 90°, dado que ângulos menores que este não interferem no porto, variando até 315°, com 22,5° de intervalo.

Mais uma vez, de maneira a poder abranger o intervalo resultante do modelo SWAN que foi posteriormente aplicado ao modelo DREAMS, foi necessária a análise da Figura 4.12, onde se obteve a variação dos níveis de maré entre 0,5 m e 2,5 m (ZH), com 0,5 m de intervalo.

Na Figura 4.36, ilustra-se a localização dos cinco locais analisados no Porto de Ponta Delgada. Os pontos D1 e D2 estão situados a sul e no exterior do porto, no molhe do cais comercial, respetivamente no cais Nacional e cais NATO, e os restantes no interior do porto, mais concretamente na piscina natural (ponto D3), no terminal de cruzeiros (ponto D4) e no molhe da marina nascente (ponto D5). Foram todos escolhidos estrategicamente, de maneira a serem pontos de grande afluência de estruturas, pessoas, equipamentos, veículos e barcos, o que significa que na análise de risco lhes podem corresponder consequências graves em termos de segurança.

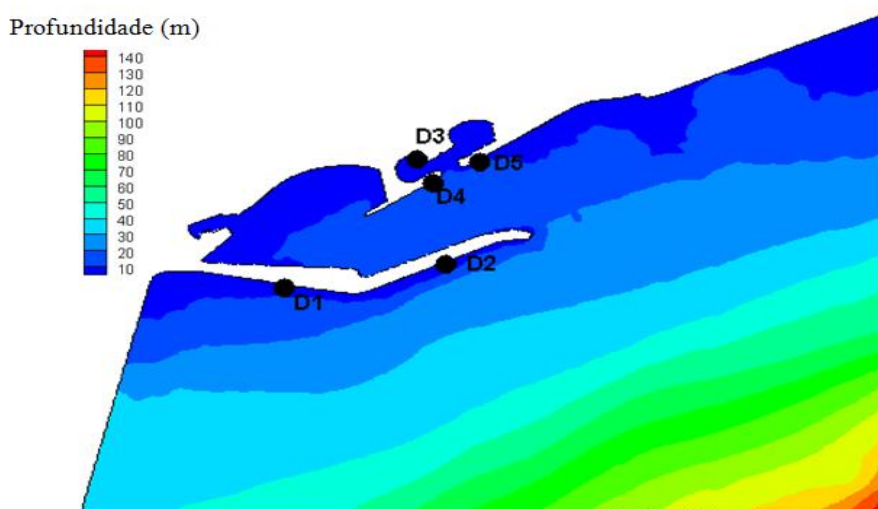


Figura 4.36 – Ilustração da localização dos cinco pontos em estudo onde é feita a caracterização da agitação marítima no modelo DREAMS para posterior análise do galgamento.

O Quadro 4.3 apresenta as coordenadas desses pontos, discriminados consoante as coordenadas utilizadas na malha menor (*nested grid*) no modelo SWAN, para a qual se pretende os resultados da agitação marítima incidente.

A *output* deste modelo não contempla diretamente um dos parâmetros que se necessita para a finalidade deste trabalho, a altura significativa, obtendo-se o índice de agitação H/H_0 (relação entre a altura da onda num ponto do domínio de

cálculo e a altura da onda de entrada). Para obter os valores de H_s , utilizou-se os programas 3D_Interpol e Interpolação (Pinheiro, 2012), que permitem obter, por interpolação quadrática e linear, respetivamente, as condições de agitação (H_s, T_p, θ_m), num ponto junto à costa para uma dada condição de agitação ao largo (H_0, T_p, θ_m), tendo por base uma matriz de transferência de agitação marítima.

Essa matriz de transferência de agitação marítima é construída com resultados dos modelos SWAN (ou DREAMS) e relaciona as condições de agitação ao largo (ou num ponto fora da zona portuária, no caso do modelo DREAMS) com as condições de agitação junto à costa ou dentro da zona portuária, para valores pré-definidos das condições de agitação ao largo.

Quadro 4.3 – Coordenadas dos pontos D1 a D5.

Identificação do local	Designação dos pontos	Coordenadas dos pontos	
		xx	yy
Molhe do cais comercial, cais Nacional	D 1	854,6822969	1084,710151
Molhe do cais comercial, cais NATO	D 2	1534,32237	1201,892639
Piscina natural	D 3	1409,331092	1701,871256
Terminal de cruzeiros	D 4	1479,638686	1592,500934
Molhe da marina nascente	D 5	1674,937557	1694,059091

Após a sua execução e dado ser um modelo linear, permite adquirir valores de H_s e θ_m nos cinco pontos em observação no período de 2011 a 2012, enquanto os resultados de T_p serão os apresentados para o ponto P2 do modelo SWAN, dado este não se alterar.

4.4.2.2 Resultados e análise do caso em estudo

Antes da análise dos resultados propriamente ditos, a Figura 4.37 apresenta os resultados que são diretamente fornecidos pelo DREAMS, através da utilização da ferramenta comercial, Tecplot™. Pode-se observar a variação do índice H/H_0 para as direções médias consideradas, à medida que a agitação se aproxima do interior do porto, para um $T_p = 10$ s e um nível de maré +1,50 m (ZH). A direção de incidência predominante é a de sudoeste, de $247,5^\circ$ (Figura 4.37c),

onde se observam maiores valores de H/H_0 , incidindo diretamente no molhe do cais comercial, onde estão localizados os pontos D1 e D2. As estruturas marítimas abrigadas por este molhe (pontos D3 a D5) encontram-se bastante protegidas de agitação proveniente de sudoeste.

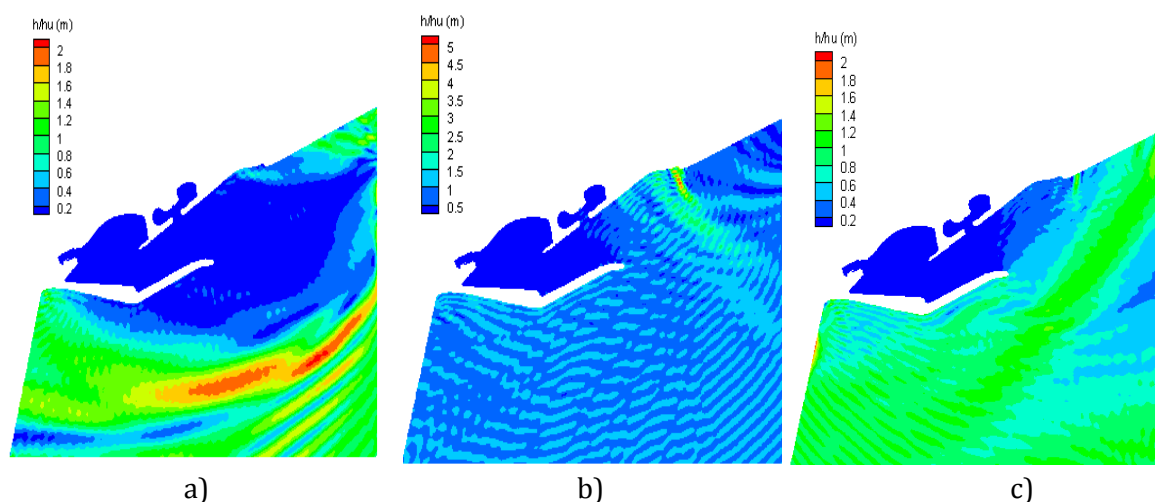


Figura 4.37 – Resultados do modelo DREAMS para $T_p = 10$ s, nível de maré = +1,50 m (ZH) e direção de onda de: a) 90° , b) 135° e c) $247,5^\circ$.

A seguir, serão ilustrados nas Figuras 4.38 e 4.39 e analisados os resultados obtidos pelo acoplamento do modelo DREAMS com os dois programas anteriormente mencionados, relativamente às séries temporais das alturas significativas e da direção da agitação para os pontos em estudo (Anexo O). No que diz respeito ao período de pico, dado que o modelo DREAMS é linear, este parâmetro é igual para qualquer ponto do domínio, variando entre 6,0 s e 20 s.

Na Figura 4.38, observa-se que os maiores valores de H_s ocorreram nos finais de setembro de 2011 e, como já seria de esperar, são apresentados para a zona exterior ao molhe do cais comercial, onde a incidência da agitação marítima é direta, pontos D1 ($H_s = 4,81$ m) e D2 ($H_s = 4,25$ m). Seguem-se os valores para o molhe da marina nascente, ponto D5 ($H_s = 1,56$ m) em meados de fevereiro de 2012. Também nesta data os pontos localizados no interior do porto exibem os valores máximos de H_s de 1,43 m para o ponto D4 e de 0,68 m para o ponto D3, que apresenta valores de H_s muito inferiores aos restantes.

Convém referir que se considerou que a altura de onda estaria limitada pela profundidade quando os valores de H_s fossem superiores a 0,78 da profundidade

de água no local. Com efeito, nesse caso, os valores de H_s são influenciados pelo fundo, originando a rebentação precoce das ondas (inclinação da onda para a frente, rebentando quando esta inclinação atinge um valor máximo). Contudo, esta condição não se aplica aos casos em estudo, visto que as ondas não são limitadas pelo fundo (as alturas significativas são baixas para a profundidade local).

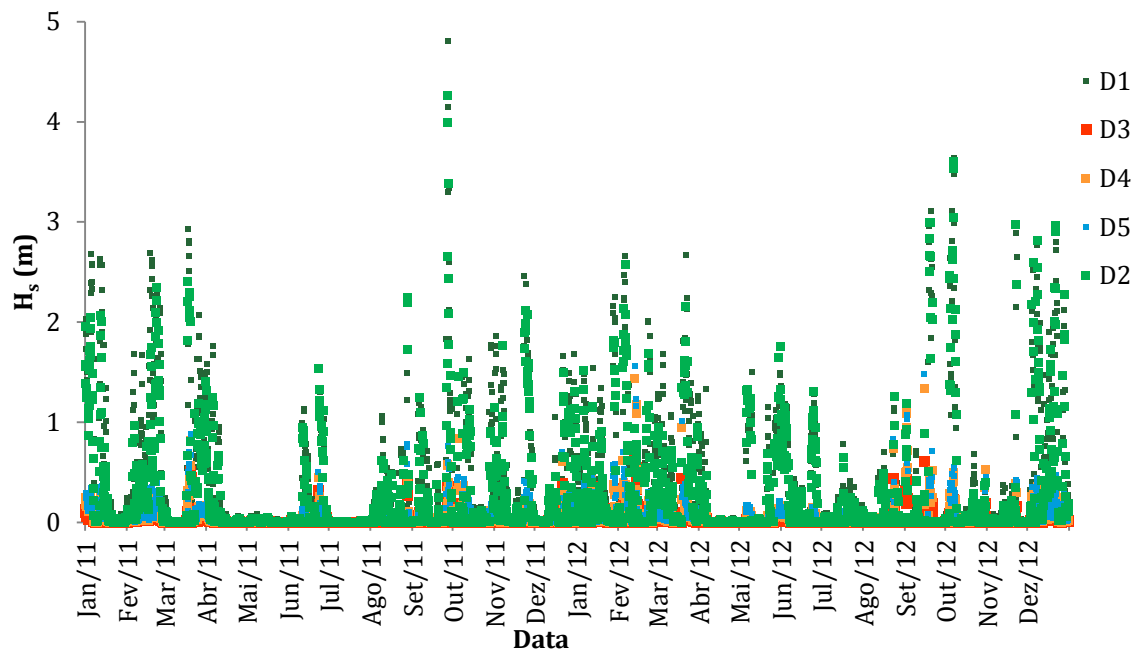


Figura 4.38 – Séries temporais da altura significativa dos pontos em análise, obtidas após a aplicação do programa 3D_Interpol.

Por fim, a direção média incidente para o ponto D1 é essencialmente vinda de sudoeste e sul e, para os restantes pontos, de sudeste, o que confirma os resultados obtidos num anterior estudo (Silva *et al.*, 2012) para os pontos D1 e D3.

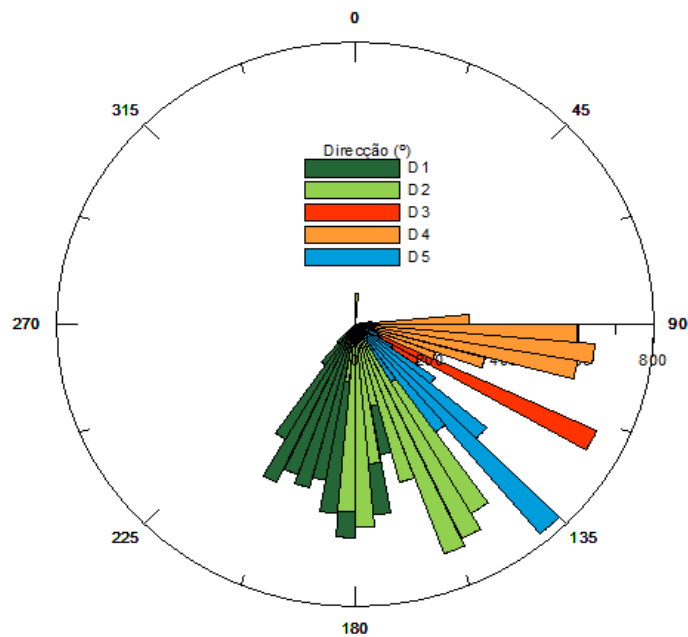


Figura 4.39 – Histograma das direções médias dos pontos em análise, obtidas após a aplicação do programa 3D_Interpol.

Conclui-se que existe uma clara mudança das características da agitação marítima desde o exterior para a zona mais abrigada do porto, o interior. No caso do terminal de cruzeiros, o molhe do cais comercial protege-o das ondas vindas de sudoeste e sul, tendo por isso alturas significativas menores que as observadas no exterior. Além disso, por o interior não estar protegido por nenhuma estrutura marítima situada a sudeste, a incidência das ondas é predominantemente desse rumo, apesar de variar entre $83,4^\circ$ e 126° , sendo sudeste a principal entrada da agitação marítima no interior (ou então por galgamento do molhe). Sendo a piscina natural a zona interna do porto mais protegida, nomeadamente por duas estruturas marítimas situadas a sul (terminal de cruzeiros e molhe do cais comercial), o ponto D3 é o ponto de estudo com menores alturas significativas e com uma gama de rumos entre $110,4^\circ$ e $122,6^\circ$.

4.4.3 Comparação dos resultados dos vários modelos aplicados

Esta sub-secção reúne os resultados obtidos por cada modelo, desde as condições de agitação ao largo (modelo WWIII), no exterior do porto (modelo

SWAN) e no interior do Porto de Ponta Delgada (modelo DREAMS) (Anexo P). Esta comparação visa observar como os parâmetros da agitação marítima que se desenvolvem à medida que esta se propaga. A escolha de dois pontos (D1 e D3) do modelo DREAMS serve apenas para se observar a importância que o molhe do cais comercial tem para as estruturas marítimas abrigadas por este.

À medida que a agitação marítima se encaminha desde o largo até ao interior do porto, a transição entre as diferentes profundidades provoca mudanças nas características da onda, diminuindo, como seria de esperar, os valores das alturas significativas (Figura 4.40). O mesmo se verifica com o período de pico (Figura 4.41), que diminui ligeiramente à medida que se aproxima do porto.

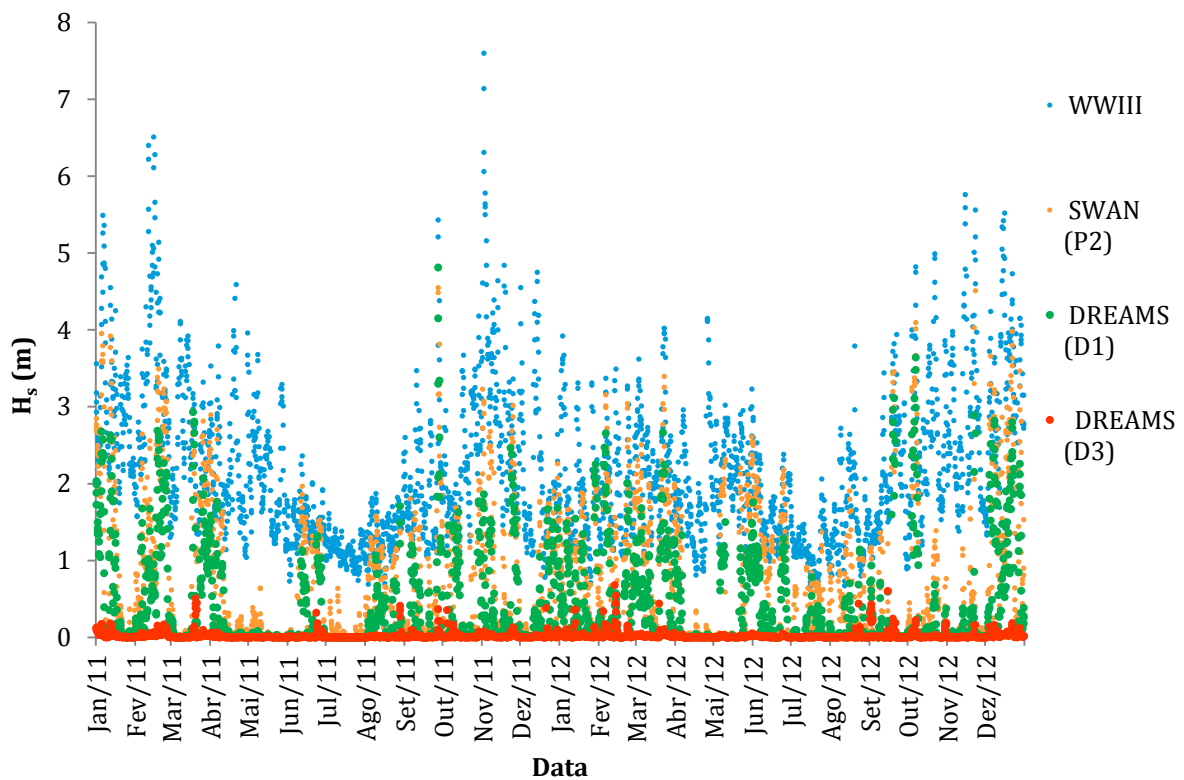


Figura 4.40 – Série temporal da altura significativa desde o largo (WWIII) até à piscina natural, ponto D3 (SWAN).

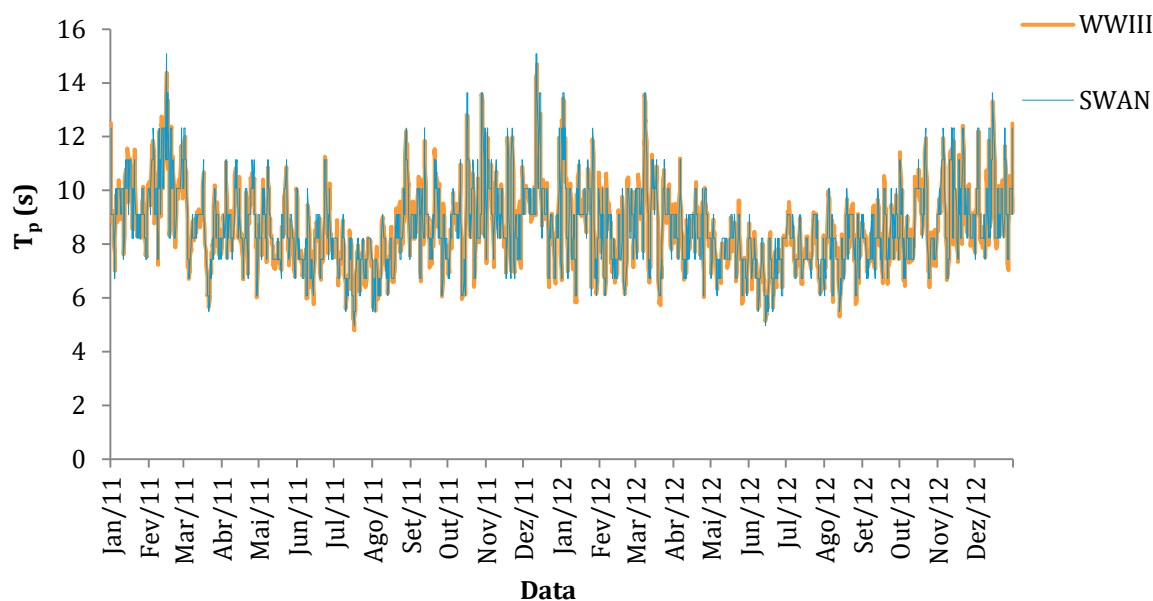


Figura 4.41 – Série temporal do período de pico desde o largo (WWIII) até ao exterior do porto (SWAN).

4.5 Caudal médio galgado

Como já mencionado anteriormente, o cálculo do galgamento pode ser efetuado de diversas maneiras. Pullen *et al.* (2007) apresentam as possíveis configurações de estruturas para aplicação da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING (Anexo A, Figura A.1). Assim, após análise das características das estruturas em estudo, conclui-se que, dada a sua simplicidade, estas estruturas enquadram-se nas configurações contempladas na ferramenta, tornando fiável a utilização desta ferramenta.

4.5.1 Ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING

4.5.1.1 Condições de aplicação

Para a aplicação da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING aos cinco locais de estudo, foi necessário a introdução dos dados da geometria das estruturas e das características de agitação resultantes do modelo DREAMS para cada coordenada, procedimento simples e de fácil compreensão.

Assim, atendendo aos perfis transversais de cada secção, anteriormente estudados na Sub-secção 4.3.4, obtêm-se os 12 parâmetros descritivos das características das estruturas marítimas. Alguns desses parâmetros alteram-se com a variação do nível de maré. Assim, para a apresentação dos dados geométricos dos cinco perfis e em vista da extensão dos dados obtidos, nos Quadros 4.4 a 4.8 são apenas apresentados os níveis de maré mínimo e o máximo observados, respetivamente 0,69 m (ZH) e 2,11 m (ZH).

Quadro 4.4 – Dados geométricos do perfil D1 necessários na ferramenta NN_OVERTOPPING para o respetivo nível de maré.

Nível de Maré (m ZH)	Dados da Estrutura											
	h_t (m)	B_t (m)	Y_f (-)	$\cot \alpha_d$ (-)	$\cot \alpha_u$ (-)	R_c (m)	B (m)	h_b (m)	$\tan \alpha_b$ (-)	A_c (m)	G_c (m)	h (m)
0,69	11,39	0,00	0,40	6,00	1,50	10,31	0,00	3,69	0,00	7,31	9,00	11,39
2,11	12,81	0,00	0,40	6,00	1,50	8,89	0,00	5,11	0,00	5,89	9,00	12,81

Quadro 4.5 – Dados geométricos do perfil D2 necessários na ferramenta NN_OVERTOPPING para o respetivo nível de maré.

Nível de Maré (m ZH)	Dados da Estrutura											
	h_t (m)	B_t (m)	Y_f (-)	$\cot \alpha_d$ (-)	$\cot \alpha_u$ (-)	R_c (m)	B (m)	h_b (m)	$\tan \alpha_b$ (-)	A_c (m)	G_c (m)	h (m)
0,69	20,89	0,00	0,40	6,00	2,00	10,31	0,00	3,69	0,00	8,51	9,25	20,89
2,11	22,31	0,00	0,40	6,00	2,00	8,89	0,00	5,11	0,00	7,09	9,25	22,31

Quadro 4.6 – Dados geométricos do perfil D3 necessários na ferramenta NN_OVERTOPPING para o respetivo nível de maré.

Nível de Maré (m ZH)	Dados da Estrutura											
	h_t (m)	B_t (m)	Y_f (-)	$\cot \alpha_d$ (-)	$\cot \alpha_u$ (-)	R_c (m)	B (m)	h_b (m)	$\tan \alpha_b$ (-)	A_c (m)	G_c (m)	h (m)
0,69	5,69	0,00	0,50	1,50	1,50	2,81	0,00	0,00	0,00	2,31	3,68	5,69
2,11	7,11	0,00	0,50	1,50	1,50	1,39	0,00	0,00	0,00	0,89	3,68	7,11

Quadro 4.7 – Dados geométricos do perfil D4 necessários na ferramenta NN_OVERTOPPING para respectivo nível de maré.

Nível de Maré (m ZH)	Dados da Estrutura											
	h_t (m)	B_t (m)	Y_f (-)	$\cot \alpha_d$ (-)	$\cot \alpha_u$ (-)	R_c (m)	B (m)	h_b (m)	$\tan \alpha_b$ (-)	A_c (m)	G_c (m)	h (m)
0,69	11,69	0,00	1,00	0,00	0,00	2,81	0,00	0,00	0,00	2,81	0,00	11,69
2,11	13,11	0,00	1,00	0,00	0,00	1,39	0,00	0,00	0,00	1,39	0,00	13,11

Quadro 4.8 – Dados geométricos do perfil D5 necessários na ferramenta NN_OVERTOPPING para o respectivo nível de maré.

Nível de Maré (m ZH)	Dados da Estrutura											
	h_t (m)	B_t (m)	Y_f (-)	$\cot \alpha_d$ (-)	$\cot \alpha_u$ (-)	R_c (m)	B (m)	h_b (m)	$\tan \alpha_b$ (-)	A_c (m)	G_c (m)	h (m)
0,69	10,69	0,00	0,40	1,50	1,50	6,31	0,00	0,00	0,00	5,81	8,80	10,69
2,11	12,11	0,00	0,40	1,50	1,50	4,89	0,00	0,00	0,00	4,39	8,80	12,11

Relativamente às características da agitação marítima apresentadas pelo modelo DREAMS, estas podem ter de sofrer algumas modificações quando importadas para a ferramenta NN_OVERTOPPING. No caso considerado, os resultados fornecidos pelo DREAMS para H_s em nada foram alterados, porque em nenhum período temporal o valor de H_s ultrapassou 0,78 da profundidade de água. O parâmetro β (ângulo que a perpendicular da estrutura faz com a direção θ) da ferramenta só pode variar de 0° a 90° , para a sua obtenção, exige o conhecimento do ângulo da estrutura com o norte (Quadro 4.9). Assim, a Figura 4.42 descreve a metodologia para a sua aquisição.

Quadro 4.9 – Ângulo que a estrutura faz com o norte.

Local	Ângulo da estrutura com o norte, α ($^\circ$)
D1	98
D2	65
D3	108
D4	57
D5	57

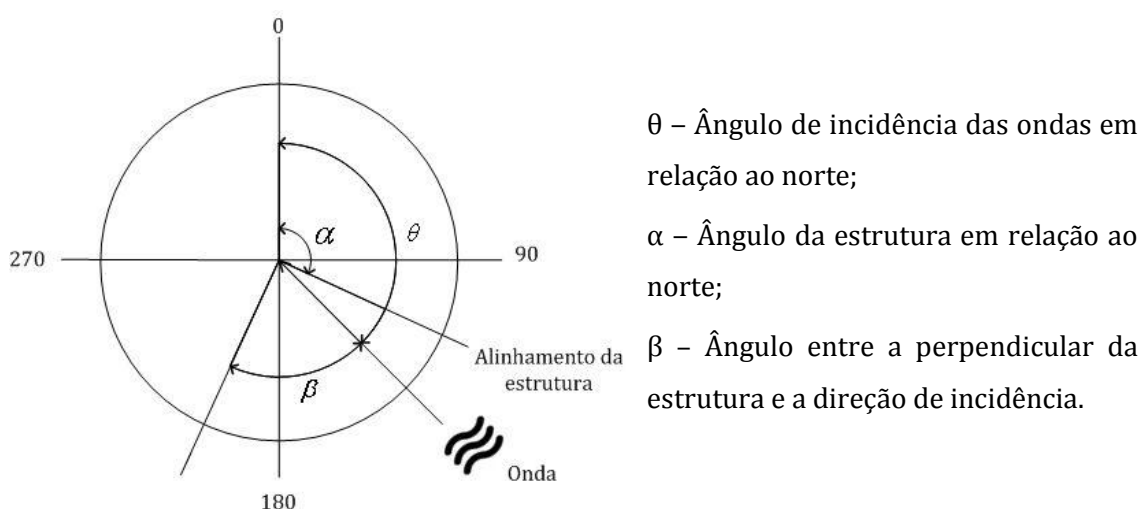


Figura 4.42 – Exemplo da obtenção de β .

Assim, para obtenção de β deve considerar-se o seguinte:

- $\theta < \alpha + 90$, $\beta = (\alpha + 90) - \theta_m$;
- $\theta > \alpha + 90$, $\beta = \theta_m - (\alpha + 90)$.

4.5.2 Resultados e análise dos casos em estudo

A utilização da ferramenta em questão permitiu obter os valores do caudal médio de galgamento, q em $m^3/s/m$ para cada ponto em estudo (Figura 4.43). Só depois foi possível proceder-se à avaliação do risco de galgamento.

Verifica-se que a ferramenta é de fácil manuseamento e apresenta uma grande rapidez de cálculo, mas é pouco precisa para pequenos caudais. A maioria dos dados apresentaram como resultado de q , o valor -1, que, como foi referido anteriormente, seria obtido caso o valor do caudal médio galgado adimensional, Q , fosse menor que 10^{-6} (NN_OVERTOPPING, *apud* Bravo, 2012).

Porém, verificou-se que, no período considerado, para as condições de agitação e para as características geométricas das estruturas inseridas no NN_OVERTOPPING, foram poucas as vezes em que se registou o galgamento das estruturas, que na sua maioria apresentam caudais médios de galgamento reduzidos (Figura 4.43), como já seria de esperar dado os baixos valores de alturas significativas obtidos.

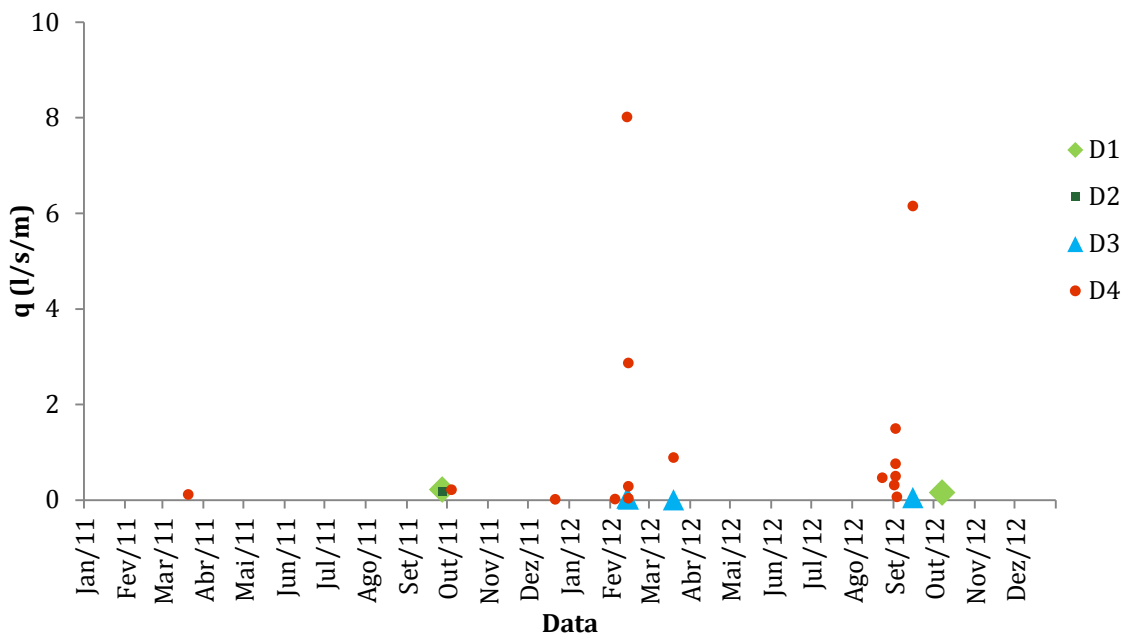


Figura 4.43 – Série temporal do caudal médio de galgamento para as diversas secções.

Foi no terminal de cruzeiros (ponto D4) que se obtiveram os caudais mais elevados. Porém, na secção do molhe da marina nascente (ponto D5) não se verificou qualquer galgamento, pelo que não foi referida na Figura 4.43.

Relativamente aos galgamentos observados no molhe do cais comercial (ponto D1), apresentam-se duas ocasiões de galgamento, sendo que o maior caudal de 0,22 l/s/m se verificou em finais de setembro de 2011 e ocorreu em simultâneo com o único evento de galgamento da secção D2, de 0,18 l/s/m. Comparando estes resultados com os adquiridos pelo modelo DREAMS, observa-se que estes galgamentos ocorrem com a altura significativa máxima e a direção vinda de sudoeste, para D1 (de 191°) e de sudeste para D2 (de 170°).

Em todos os instantes em que se verificou a ocorrência de galgamento na piscina natural (ponto D3), também se verificou galgamento no terminal de cruzeiros (ponto D4), tendo sido em fevereiro de 2012 que se verificou o caudal médio de galgamento máximo de 8,01 l/s/m neste ponto. Verificou-se também que nestas ocasiões a incidência da direção das ondas era predominantemente de sudeste.

Ainda nesta análise, pode averiguar-se que na altura dos galgamentos nos pontos exteriores, onde a direção das ondas é usualmente de sudoeste, verificou-se

a ausência de galgamento para os locais interiores, podendo concluir-se que a ocorrência deste fenómeno para os pontos D3 e D4 é devido a estes não estarem protegidos a sudeste. O ano com mais ocorrências de galgamento foi o ano de 2012.

Uma vez conhecidos os locais, os valores de caudal médio de galgamento e os respetivos dias em que se verificaram os eventos (Quadro 4.10), foi feita uma pesquisa de maneira a averiguar a coerência dos resultados obtidos com os eventos reais de galgamento, baseado na informação fornecida pelo Porto de Ponta Delgada.

Quadro 4.10 – Data/hora em que se obteve galgamento nos vários troços.

DATA/HORA	NN_OVERTOPPING, q (l/s/m)				
	D1	D2	D3	D4	D5
20/03/2011 06:00				0,11	
27/09/2011 12:00	0,22	0,18			
04/10/2011 12:00				0,21	
21/12/2011 18:00				0,01	
04/02/2012 18:00				0,02	
13/02/2012 18:00			0,03634	8,01	
14/02/2012 00:00				0,28	
14/02/2012 06:00			0,01696	2,86	
14/02/2012 12:00				0,03	
19/03/2012 12:00			0,00124	0,89	
23/08/2012 18:00				0,46	
01/09/2012 18:00				0,31	
02/09/2012 06:00				0,50	
02/09/2012 12:00				0,76	
02/09/2012 18:00				1,49	
03/09/2012 00:00				0,06	
15/09/2012 00:00			0,04678	6,15	
07/10/2012 06:00	0,15				

O porto disponibilizou algumas informações esclarecedoras acerca dos galgamentos ocorridos, verificando-se que os que ocorreram no porto atingiram o molhe nascente da marina e o molhe de proteção do cais comercial, iniciando-se na zona FCC5 a FCC8B, nomeadamente no cais Nacional (ilustrado no Anexo Q).

Contudo quando a tempestade é forte, o galgamento generaliza-se por todo o cais comercial, sendo este molhe o local onde se observam galgamentos com maior frequência e intensidade.

Acerca do registo sistemático de ocorrência do fenómeno de galgamento, apenas existem registos dos dias de tempestade, (27 de setembro de 2011, 22 de março de 2012 e 20 de agosto de 2012), sendo que para os galgamentos de pequena dimensão, que não colocaram em causa a operação portuária, não existe qualquer informação.

No que diz respeito ao terminal de cruzeiros, o porto esclarece que nesta secção têm apenas registos de inundações, pelo que pode apenas existir alguma água no tabuleiro do cais que, até à data, não fez estragos significativos. Os galgamentos no terminal nunca foram superiores aos do molhe do cais comercial.

Comparando esta informação com as estimativas de galgamento efetuadas, verifica-se uma discrepância no que diz respeito, principalmente, aos galgamentos do terminal de cruzeiros (ponto D4), no qual se observa um caudal médio de galgamento superior ao do molhe do cais comercial. Porém, para o período temporal referido pelo porto, confirma-se a ocorrência de galgamentos para 27 de setembro de 2011, nos pontos D1 e D2, em que se fez sentir um forte temporal que afetou a ilha de São Miguel. Este temporal imobilizou a operacionalidade do Porto de Ponta Delgada, forçando ao seu encerramento à navegação, tendo havido a necessidade de recorrer aos rebocadores para manter os navios no cais, registando-se a queda de alguns contentores ao mar, dada a forte agitação marítima e o vento. Algumas imagens foram obtidas neste dia, estando ilustradas no Anexo R.

4.6 Avaliação do risco de galgamento

4.6.1 Valores admissíveis

Os valores limites de caudal médio de galgamento por metro linear de estrutura (l/s/m) adotados para as diversas utilizações de cada uma das cinco

zonas em análise, foram considerados segundo os Quadros 2.2 a 2.5 desenvolvidos por Pullen *et al.* (2007).

Atendendo a esses valores críticos considerou-se que (Quadro 4.11):

- Qualquer das estruturas marítimas se enquadra numa defesa frontal, com danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da defesa – 200 l/s/m;
- A circulação de pessoas no molhe do cais comercial (pontos D1 e D2), é restrita, assumindo-se assim que seja pessoal treinado, com perceção de que se pode molhar e com perigo reduzido de queda para o mar – 1 l/s/m. Na zona das piscinas (ponto D3), a circulação é pública, envolvendo pessoas totalmente desprevenidas, que podem ficar facilmente perturbadas, que não estão vestidas de maneira apropriada e que se deslocam numa zona estreita ou propícia a quedas – 0,03 l/s/m. Nos restantes locais, considera-se que os utilizadores não ficam perturbados ou assutados com o facto de ficarem molhados – 0,1 l/s/m;
- Os veículos circulam a baixa velocidade nos pontos considerados, nomeadamente pontos D1, D2, D4 e D5 – 10 l/s/m;
- Os contentores no molhe do cais comercial (ponto D1) e o equipamento (gruas, barcos para reparação, equipamento de amarração, etc.) localizado nos pontos D2 a D5 estão a 5–10 m da estrutura – 0,4 l/s/m;
- Danos em grandes barcos localizados nos pontos D1, D2 e D4 e afundamento de barcos pequenos localizados a 5–10 m da estrutura (ponto D5) – 10 l/s/m;
- Na superestrutura do molhe do cais comercial, ponto D1, existem armazéns, na piscina natural existe um edifício de restauração e o terminal de cruzeiros apresenta na sua proximidade o edifício Portas do Mar – 1 l/s/m.

Quadro 4.11 – Valores críticos de caudal médio de galgamento.

Local	Valores críticos, q (l/s/m)					
	Estrutura marítima	Pessoas	Veículos	Edifícios	Equipamentos	Barcos
D1	200	1	10	1	0,4	10
D2	200	1	10	–	0,4	10
D3	200	0,03	–	1	0,4	–
D4	200	0,1	10	1	0,4	10
D5	200	0,1	10	–	0,4	10

Nas Figuras 4.44 a 4.46 apresentam-se os eventos de galgamento obtidos nos diversos pontos e os valores admissíveis mais próximos. Note-se que nestas figuras não foi incluída a secção D5, devido a não se ter obtido pela ferramenta neuronal qualquer valor de caudal médio de galgamento nesta secção.

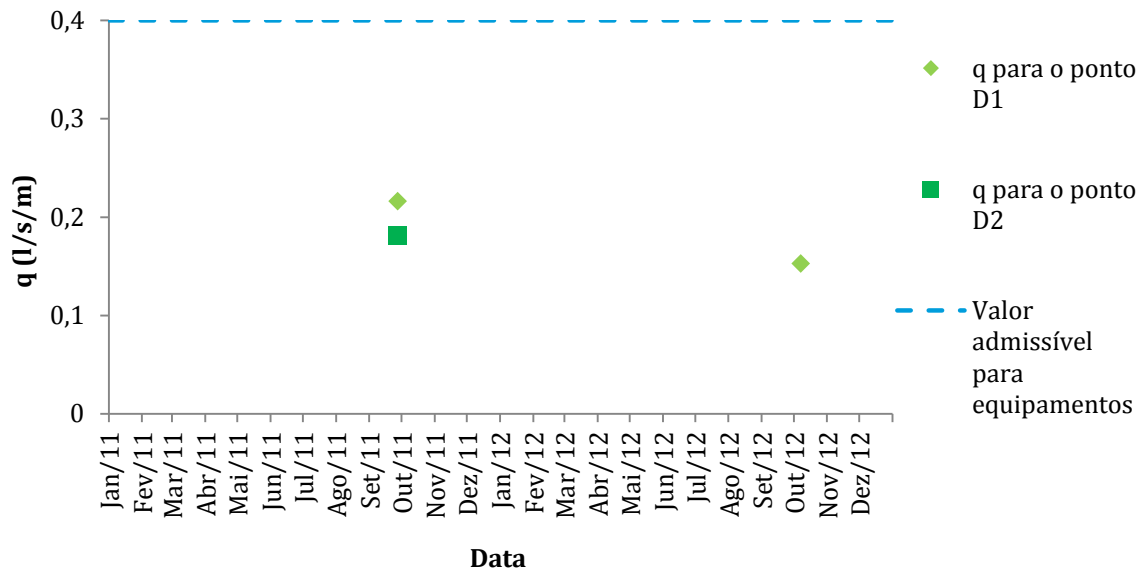


Figura 4.44 – Séries temporais do galgamento q para os pontos D1 e D2 e reta do valor admissível para navios e equipamentos na zona abrigada da estrutura.

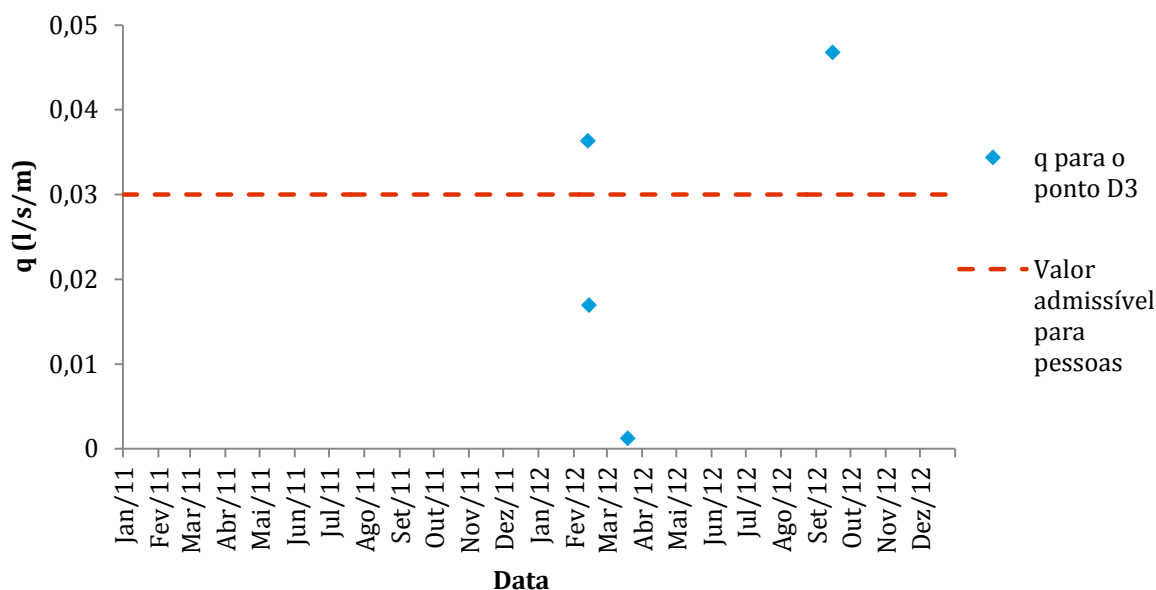


Figura 4.45 – Série temporal do galgamento q para o ponto D3 e reta do valor admissível para pessoas.

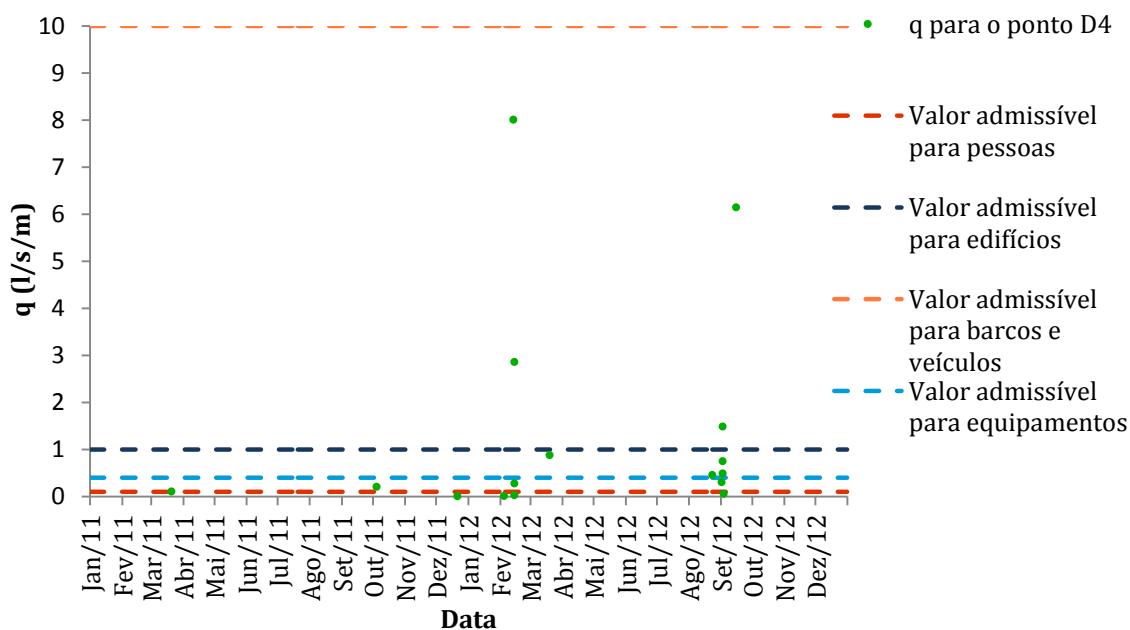


Figura 4.46 – Série temporal do galgamento q para o ponto D4 e respectivas retas dos valores admissíveis adotados.

Na Figura 4.44, pode verificar-se que os galgamentos para os pontos exteriores do molhe (D1 e D2), respetivamente cais Nacional e cais NATO, para o período de dois anos, não ultrapassam o valor crítico mais baixo, associado à segurança de equipamentos.

A Figura 4.45, referente à piscina natural, mostra que existiram dois eventos de galgamento, dos quatro obtidos, que ultrapassam o valor admissível para pessoas.

Finalmente, na Figura 4.46, que ilustra mais e maiores valores de caudal médio de galgamento, verifica-se que houve 12 eventos que ultrapassaram o valor admissível para pessoas, oito eventos que excederam o valor admissível para equipamentos e quatro eventos que ultrapassaram o valor admissível para edifícios. Uma razão possível para esta excedência pode ser o facto de o terminal ser atingido pela agitação vinda de este.

4.6.2 Probabilidade de ocorrência

Após a obtenção dos valores críticos para as diversas categorias, calculam-se as probabilidades de ocorrência de galgamento excessivo para os cinco pontos, Quadro 4.12, através do quociente entre o número de vezes que esse valor é ultrapassado e o número de casos possíveis (neste trabalho, 2921 casos). Assim, associando estes valores ao Quadro 3.1 (Neves *et al.*, 2012), obtém-se o grau de probabilidade.

Quadro 4.12 – Probabilidades de ocorrência de um acontecimento perigoso para as diversas utilizações nas cinco secções em análise.

Local	Probabilidade (%)					
	Estrutura marítima	Pessoas	Veículos	Edifícios	Equipamentos	Barcos
D1	0	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	-	0	0
D3	0	0,0007	-	0	0	-
D4	0	0,0041	0	0,0014	0,0027	0
D5	0	0	0	-	0	0

Relativamente ao molhe do cais comercial (pontos D1 e D2), dado os valores de caudal médio de galgamento serem muito baixos, não ultrapassam em qualquer

momento os valores críticos adotados para a sua envolvente, encontrando-se, assim, a probabilidade de ocorrência no intervalo entre 0–1% para os dois pontos, correspondente a acontecimentos improváveis, de grau 1.

A piscina natural (ponto D3) apenas apresenta probabilidades de ocorrência não nulas para as pessoas, enquadrando-se no intervalo de 0–1%, acontecimento improvável, por apresentar uma probabilidade ínfima de 0,0007 %.

O terminal é o ponto que se depara com um maior número de ocorrências associadas, quer a pessoas, a equipamentos e a edifícios, de 12, 8 e 4 vezes, respetivamente. Pode, assim, classificar-se com um grau de probabilidade igual a 1, acontecimento improvável.

Na marina, os galgamentos ocorridos são totalmente inofensivos para a estrutura de defesa, as pessoas, os veículos, os equipamentos e os barcos, situando-se, assim, no intervalo entre 0–1 % de probabilidade de ocorrência, correspondente a um acontecimento improvável.

4.6.3 Consequências de ocorrência

Após definido o grau de probabilidade de ocorrência de galgamento, pode estabelecer-se o grau de consequências associado, recorrendo ao Quadro 3.2.

Este parâmetro é um pouco mais complicado de analisar, dada a falta de informação sobre os prejuízos causados pelos valores de caudal médio de galgamento obtidos para cada estrutura.

Para os pontos do molhe do cais comercial (pontos D1 e D2), atribuiu-se um grau de consequências igual a 10 (consequências muito sérias), pois a ocorrência de galgamentos pode levar à impossibilidade de realização de operações de carga e descarga.

Para a piscina natural (ponto D3), adotou-se um grau de consequências igual a 5 (consequências sérias), dada a possibilidade de múltiplas lesões em pessoas e danos em equipamentos/edifício.

No terminal de cruzeiros (ponto D4), considerou-se um grau de consequências de 5 (consequências sérias), associado a múltiplas lesões ou uma

única lesão grave, possíveis danos interiores moderados, nomeadamente no edifício Portas do Mar.

No molhe da marina nascente (ponto D5), atribuiu-se um grau de consequências de 2 (consequências reduzidas), devido essencialmente a eventuais alterações nas atividades da marina e danos ligeiros em equipamentos/barcos.

4.6.4 Grau de risco

Por fim, o grau de risco pode ser alcançado pela multiplicação dos dois graus anteriormente caracterizados, especificamente o de probabilidade e de consequências da ocorrência de um acontecimento perigoso.

Com o auxílio de Neves *et al.* (2012), Quadro 3.3, pode-se assim classificar e impor medidas de controlo desse risco caso seja necessário.

Com base no Quadro 4.13, conclui-se que para a marina (ponto D5), não são necessárias quaisquer medidas do controlo do risco de galgamento, classificando-se o risco em insignificante. Contudo, para os pontos do molhe do cais comercial (D1 e D2), para a piscina natural (ponto D3) e para o terminal de cruzeiros (ponto D4), já é necessário adotar medidas para o controlo do risco de galgamento. Com base nestas conclusões, pode finalmente representar-se graficamente o grau de risco associado.

Quadro 4.13 – Grau de risco para as cinco secções em estudo.

Local	Grau de Probabilidade	Grau de Consequências	Grau de Risco	Descrição	Controlo do Risco
D1	1	10	10	Reduzido	Risco que pode ser considerado aceitável caso se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo
D2	1	10	10	Reduzido	
D3	1	5	5	Reduzido	
D4	1	5	5	Reduzido	
D5	1	2	2	Insignificante	Não são necessárias quaisquer medidas

4.6.5 Mapa de risco

O mapa de risco é uma mais valia para a avaliação do risco de galgamento.

A Figura 4.47, mostra o risco de galgamento das estruturas das cinco secções consideradas nos dois anos de estudo (2011 e 2012), representado por uma bandeira colorida cuja cor está associada ao grau de risco, de acordo com o

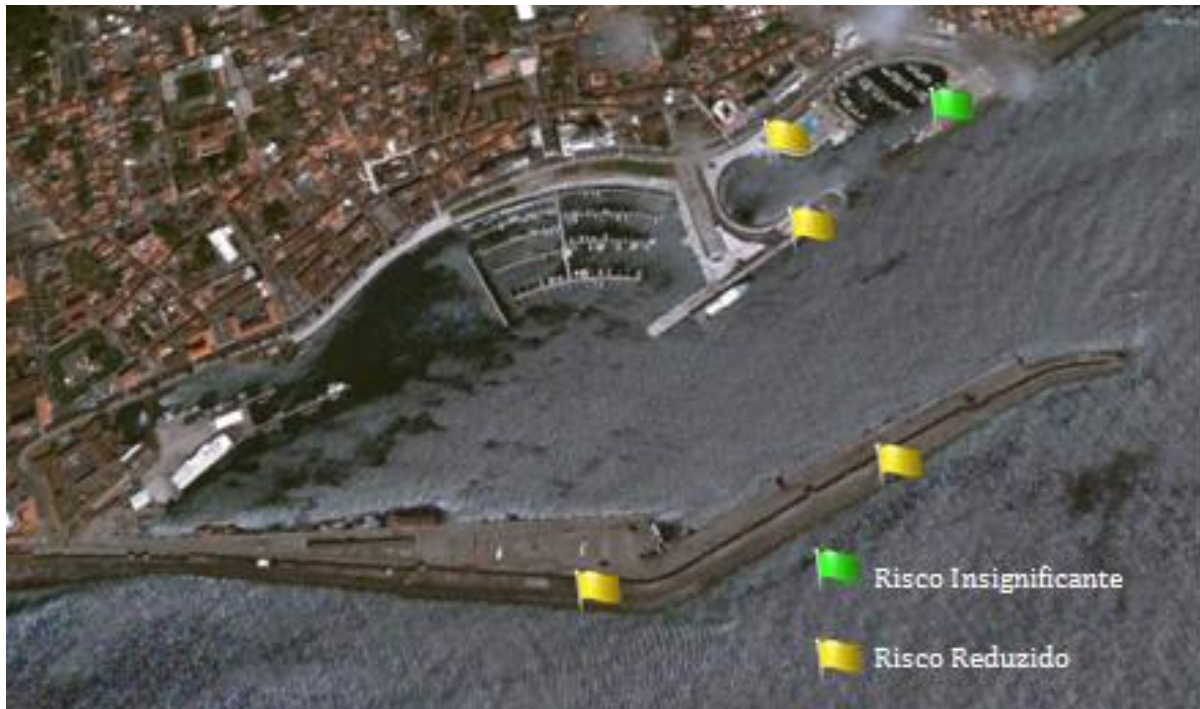


Figura 4.47 – Representação gráfica do grau de risco de galgamento para os dois pontos do molhe do cais comercial, para a piscina natural, para o terminal de cruzeiros e para a marina nascente (Google Earth, 2008).

Capítulo 5

Conclusões e considerações finais

5.1 Principais resultados

No presente trabalho, foi implementada uma metodologia desenvolvida pelo LNEC para a avaliação do risco de galgamento de estruturas portuárias, sendo a mesma testada para o Porto de Ponta Delgada, na ilha de São Miguel, Açores, num período de dois anos (2011 e 2012). Foram analisadas cinco secções de estruturas marítimas do referido porto, nomeadamente duas localizadas no exterior do molhe do cais comercial, uma no molhe da marina nascente e duas no interior do porto, uma delas no terminal de cruzeiros e a outra na piscina natural. A escolha das secções em estudo teve como principal critério as zonas que englobavam na sua envolvente uma maior atividade e onde deveriam ser adotadas mais medidas de prevenção.

Para cada estrutura, foi feita a caracterização da agitação marítima através de três parâmetros essenciais — altura significativa, H_s , período de pico, T_p , e direção média, θ_m —, por meio do acoplamento de diferentes modelos numéricos (WWIII, SWAN e DREAMS), em função dos seus diferentes domínios de aplicabilidade.

A comparação dos dados da boia ondógrafo localizada ao largo do porto com os fornecidos pelo modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999) revela alguma divergência, principalmente em relação ao parâmetro da direção média, para o qual foi observada, para um dado momento do período em análise, uma diferença de 160° entre tais dados, o que confirma a necessidade de calibração do modelo para esta

variável. Para os restantes dois parâmetros em estudo, H_s e T_p , os valores gerados pelo modelo estiveram próximos dos medidos *in situ*.

Relativamente aos resultados do modelo DREAMS (Fortes, 1993), observou-se, como já seria de esperar, valores de H_s superiores para os pontos exteriores do porto e inferiores para os do seu interior, devido essencialmente ao fenómeno de difração. Relacionando os resultados deste modelo com os dos restantes modelos de previsão e propagação da agitação marítima empregues, verificou-se que à medida que a onda se propaga para as proximidades do porto e até ao seu interior, a sua altura significativa diminui progressivamente.

O uso da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING (Coeveld *et al.*, 2005) permitiu que se obtivesse o caudal médio de galgamento a partir das condições de agitação marítima obtidas pelo modelo DREAMS e dos parâmetros geométricos do perfil de cada estrutura. Estes resultados demonstraram que, no período em análise, as estruturas exteriores, com perfis-tipo mais elaborados, praticamente não sofreram a ocorrência deste fenómeno que, porém, foi mais sentido no interior do porto, pelo facto de aí as estruturas não estarem abrigadas a sudeste e possuírem perfis-tipo mais simples, onde a dissipação de energia das ondas é menor. Notou-se, ainda, que 2012 foi o ano em que se verificaram mais eventos de galgamento.

Segundo a informação obtida junto do porto, seria mais expectável a estimação de galgamentos no molhe do cais comercial do que no terminal de cruzeiros, o que não se verificou. Assim, a discrepância entre os resultados estimados e as observações *in situ* deverá ser analisada no âmbito de um trabalho futuro, que deverá iniciar-se por uma reanálise dos resultados obtidos, em especial de alguns aspetos da modelação numérica da propagação da agitação marítima, como a consideração do vento, a análise da malha batimétrica utilizada, os fenómenos considerados no modelo SWAN e os coeficientes de reflexão adotados no modelo DREAMS. Há que referir que o uso da ferramenta neuronal para o cálculo do caudal médio de galgamento, poderá produzir resultados menos exactos quando os dados nela introduzidos forem muito distintos daqueles usados no treinamento da rede neuronal.

Após definidos os valores críticos para as atividades envolvidas de cada secção em análise, com base nas recomendações de Pullen *et al.* (2007), procedeu-se à avaliação do risco propriamente dita. Observou-se que os galgamentos obtidos para os pontos no molhe do cais comercial não ultrapassavam, no período em estudo, os valores críticos estabelecidos. O mesmo não pode ser dito para o terminal de cruzeiros e para a piscina natural, onde foram estimados alguns galgamentos acima dos valores críticos, principalmente no terminal. O molhe da marina nascente não apresentou qualquer galgamento quando utilizada a ferramenta NN_OVERTOPPING.

A obtenção da probabilidade de ocorrência de galgamentos acima de valores admissíveis indica acontecimentos improváveis que não ultrapassaram 1% em nenhum caso, sendo o maior valor de 0,004%. Com o auxílio dos Portos dos Açores, conseguiu-se estabelecer com maior rigor as consequências associadas aos galgamentos críticos.

Conclui-se, nesta avaliação de risco, que o mesmo é insignificante para o molhe da marina nascente, sendo reduzido para todas as restantes secções analisadas, onde será necessário selecionar um conjunto de medidas para o seu controlo, de forma a que o risco possa ser considerado aceitável. No entanto, o risco de ocorrência de galgamento apenas foi analisado para um espaço temporal de dois anos, o que não será com certeza representativo deste fenómeno.

Concluiu-se, por fim, que a implementação desta metodologia de avaliação de riscos é simples e que os seus resultados dependem, principalmente, da qualidade e da quantidade dos dados de agitação marítima disponíveis, do conhecimento dos locais em estudo, da escolha informada dos valores críticos admissíveis de galgamento e da identificação das consequências associadas a um dado caudal médio superior ao admissível. Pode-se também afirmar que o objetivo da utilização desta metodologia para avaliação do risco de ocorrência de galgamento no Porto da Ponta Delgada foi alcançado de forma eficaz. Esta metodologia é, assim, indispensável para o planeamento de eventuais intervenções nos locais em estudo, contribuindo, desta forma, para o desenvolvimento de um sistema de alerta, caso a agitação marítima coloque em risco bens, pessoas e o ambiente, bem como para a redução dos prejuízos que o galgamento possa causar.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Em relação a trabalhos futuros, propõe-se que seja considerada a atuação do vento na caracterização da agitação marítima, como antes referido, e a extensão do estudo no Porto de Ponta Delgada para um período de análise significativamente mais longo.

Seria igualmente interessante a aplicação desta metodologia para o Porto do Funchal, na Região Autónoma da Madeira, que se apresenta neste momento em remodelação, no sentido de se estender para este da ilha da Madeira. Na fase de projeto, as obras marítimas de proteção (quebramares de talude) são sempre de difícil dimensionamento, devido à complexidade relacionada com as próprias solicitações da agitação marítima que se faz sentir em determinadas alturas do ano, sendo por isso difícil evitar galgamentos excessivos, que possam causar situações de perigo e provocar prejuízos.

Referências bibliográficas

- Afonso, L. C. L. (2011). *Estudo numérico do galgamento de estruturas de protecção costeira*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Antunes, C. (2011). Monitorização da variação do nível médio do mar, in *Actas das 1^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, 273–276, Instituto Hidrográfico, Lisboa.
- Azevedo, E.B., Mendes, P., Gonçalo, V. (2008). Projects CLIMAAT and CLIMARCOST Climate and meteorology of the Atlantic archipelagos, maritime and coastal climate, in *I Workshop Internacional sobre Clima e Recursos Naturais nos Países de Língua Portuguesa – WSCRA08*, Agência CRIA e INMG-CV, Ilha do Sal, Cabo Verde.
- Berkhoff, J. C. W. (1972). Computation of combined refraction-diffraction, in *Proceedings of the 13th International Conference Coastal Engineering*, vol. 2, 471–490, ASCE, New York.
- Booij, N., Holthuijsen, L. H, Ris, R. C. (1996). The SWAN wave model for shallow water, in *Proceedings of the 25th International Conference on Coastal Engineering*, 668–676, ASCE, New York.
- Booij, N., Ris, R. C., Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions. Part I. Model description and validation. *Journal Geophysical Research*, 104(C4): 7649–7666.
- Bravo, A. A. (2012). *Comparação de duas ferramentas de cálculo do galgamento baseadas na análise de redes neuronais*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.

- Brito, S. F. (2007). *Estudo do galgamento em estruturas marítimas*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Coeveld, E. M., Van Gent, M. R. A., Pozueta, B. (2005). *Neural network manual: NN_OVERTOPPING 2*. Report, WL/Delft Hydraulics, 38 p., Delft, Netherlands.
- Danel, P., Greslou, L. (1962). The tetrapod, in *Proceedings of the 8th Conference on Coastal Engineering*, 469–481, Council on Wave Research, the Engineering Foundation, Richmond, CA.
- Fabião, J. P. F. (2012). *Estabilidade hidráulica do manto de quebra-mares de talude; estudo em modelo físico*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Fernandes, J., Robert, M., Martins, P. (2003). *Terminal marítimo e reestruturação da avenida marginal de Ponta Delgada*. Consulmar – Projectistas e Construtores, Lisboa.
- Fernández, J. R. (2011). *Internship Report*. Trabalho de Estágio, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Fortes, C. J. E. M. (1993). *Modelação matemática da refração e difração combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos)*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Fortes, C. J. E. M. (2002). *Transformações não-lineares de ondas marítimas em zonas portuárias. Análise pelo método dos elementos finitos*. Tese de Doutoramento (Engenharia Mecânica), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Fortes, C. J. E. M., Pinheiro, L., Fernandes, J. L. M. (2006). Aplicações do modelo de elementos finitos de propagação de ondas EpE_CG a zonas portuárias: Sines e Vila do Porto, in *Anais do II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica*, 1–20, FURG, Rio Grande, RS.
- Gomes, F. F. M. V. (1981). *Espraiamento de ondas regulares sobre taludes de obras marítimas*. Tese de Doutoramento (Hidráulica Marítima), Universidade do Porto, Porto.

- Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke, K., Ewing, J. A., Gienapp, H., Hasselmann, D. E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D. J., Richter, K., Sell, W., Walden, H. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift*, A8(12): 1–95.
- Lara, J. L., Ruju, A., Lousada, I. D. (2011). Reynolds averaged Navier-Stokes modelling of long waves induced by a transient wave group on a beach. *Proceedings of the Royal Society A*, 467: 121–1242.
- LNEC (1989). *Ensaio de estabilidade e galgamento das obras de valorização da orla marítima de Ponta Delgada. Relatório final*. Relatório 198/199, Departamento de Hidráulica, Núcleo de Portos e Praias, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LNEC (2004). *Ensaio em modelo reduzido do Porto de Ponta Delgada (S. Miguel – Açores)*. Relatório 111/04. Departamento de Hidráulica, Núcleo de Portos e Praias, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Magalhães, S. (2007). *Comportamento hidráulico de estruturas marítimas – Estudos de reflexão*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Neves, D. R. C. B. (2009). *Utilização de um sistema de informação geográfica na modelação numérica de propagação de ondas em zonas portuárias*. Dissertação de Mestrado (Ciências Geofísicas), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Neves, D. R. C. B., Fortes, C. J. E. M., Santos, J. A., Reis, M. T., Rodrigues, S. (2010). Avaliação do risco para a navegação utilizando o sistema GUIOMAR: O caso de Sines, in *Conferência Ibérica ESIG 2010*, USIG, Oeiras.
- Neves, D. R., Santos, J. A., Reis, M. T., Fortes, C. J. E. M., Simões, A., Azevedo, E. B., Rodrigues, M. C. (2012). Metodologia de avaliação do risco associado ao galgamento de estruturas marítimas. Aplicação ao porto e à baía da Praia da Vitória, Açores, Portugal. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 12(3): 291–312.

- Pereira, A. I. S. (2008). *Modelação da agitação marítima em zonas costeiras*. Dissertação de Mestrado (Engenharia e Arquitectura Naval), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Pinheiro, L. V., Fortes, C. J. E. M., Fernandes, J. L. (2008). Gerador de malhas de elementos finitos para a simulação numérica de propagação de ondas marítimas. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 24(4): 369–391.
- Pinheiro, L. (2010). *Programas 3D_Interpol.f e Interpolação*. Relatório. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Pinto, F. T., Neves, A. C. (2003). *A importância da consideração do carácter irregular da agitação marítima no dimensionamento de quebra-mares de taludes*. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.
- Pinto, F. T. (2001). *Dimensionamento hidráulico e estrutural de quebra-mares de taludes*. Trabalhos Fluviais e Marítimos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Pita, C. (1986). *Dimensionamento hidráulico do manto resistente de quebra-mares de talude*. Memória nº 670, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Poseiro, P. (2013). *Estimativas do modelo WWIII (programa Python)*. Relatório do Projeto de Investigação HIDRALERTA, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Pullen, T., Allsop, N. W. H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H., van der Meer, J. W. (2007). EurOtop – Wave overtopping of sea defences and related structures: Assessment manual, *Die Küste: Archive for Research and Technology on the North Sea and Baltic Coast*, 73, 1–178.
- Raposeiro, P. D., Fortes, C. J., Reis, M. T., Ferreira, J. C. (2010). Development of a methodology to evaluate the flood risk at the coastal zone, in Calado, H., Gil, A. J. F. (Eds.), *Geographic technologies applied to marine spatial planning and integrated coastal zone management*, 129–137, CIGPT – Centro de Informação Geográfica e Planeamento Territorial, University of the Azores, Ponta Delgada, Portugal.

- Reis, M. T. (2008). *Galgamento de estruturas marítimas. O modelo AMAZON: Aplicações*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Reis, M. T., Fortes, C. J. E. M., Santos, J. A., Neves, D. R. C. B., Vieira, A. S. (2011). Previsão dos galgamentos na baía da Praia da Vitória para avaliação de risco e alerta, in *VI Congresso sobre Planeamento e Gestão de Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, Ilha da Boa Vista, Cabo Verde.
- Reis, M. T., Hu, K., Hedges, T. S., Mase, H. (2008). A comparison of empirical, semiempirical, and numerical wave overtopping models. *Journal of Coastal Research*, 24(2B): 250–262.
- Reis, M. T., Neves, M. G. (2010). Estudo do galgamento de estruturas marítimas utilizando um modelo numérico baseado na teoria da onda em condições de água pouco profunda. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 10(4): 397–417.
- Reis, M. T., Santos, J. A. (2010). Verificação da segurança de estruturas marítimas utilizando métodos probabilísticos de níveis II e III, in *II Congresso Internacional e VI Encontro Nacional de Riscos*, Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Coimbra.
- Rocha, T. S. (2012). *Avaliação do galgamento de estruturas portuárias: Aplicação ao porto da Praia da Vitória, Açores*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.
- Santos, J. A., Reis, M. T., Neves, D., Fortes, C. J. E. M., Rodrigues, S., Azevedo, E., Rodrigues, M., Simões A., Ramalheira, J., Raposeiro, P. (2011). Porto da Praia da Vitória: Estimativa de galgamentos da proteção marginal da baía, in *7.ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, AIPCN/PIANC, Porto.
- Silva, D. M. F. (2012). *Avaliação do galgamento de estruturas portuárias*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Silva, D. M. F., Fortes, C. J., Reis, M. T., Carmo, J. S. A., Simões, A., Rodrigues, C. (2012). Avaliação do galgamento de estruturas portuárias: Porto de Ponta Delgada. *Recursos Hídricos*, 33(2): 37–51.

Silva, E., Santos, J. A., Reis, M. T. (2011). Porto da Praia da Vitória: Estimativa dos galgamentos da proteção marginal da baía, in *7.ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, AIPCN/PIANC, Porto.

SWAN Team (2011). *SWAN scientific and technical documentaion. SWAN Cycle III version 40.85*. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, Netherlands.

Taborda, R., Dias, J. M. A. (1992). Análise da sobreelevação do nível do mar de origem meteorológica durante os temporais de fevereiro/março de 1978 e dezembro de 1981. *Geonovas*, Número Especial 1 (A Geologia e o Ambiente), 89–97.

Tolman, H. L. (1991). A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents. *Journal of Physics Oceanography*, 21(6): 782–797.

Zózimo, A. C., Gonçalves, A., Fortes, C., Charneca, N. (2005). Ferramenta SIG para modelos de propagação de ondas. Desenvolvimentos preliminares, in *7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*, APRH, ABRH, AMCT, INGRH, Évora.

<http://www.hidrografico.pt/modelos-numericos.php> (Acedido 16 maio, 2013)

<http://www.climaat.angra.uac.pt/> (Acedido 28 maio, 2013)

<http://nn-overtopping.deltares.nl/overtopping.aspx> (Acedido 5 Junho, 2013)

<http://www.portasdomar.pt> (Acedido 24 Junho, 2013)

Anexos

Anexo A – Ferramenta Neuronal

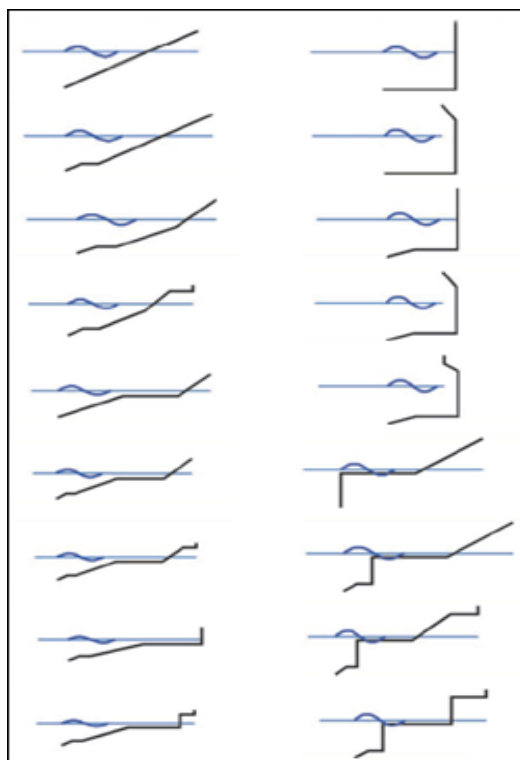


Figura A.1 – Possíveis configurações da estrutura para aplicação da ferramenta neuronal (adaptado de Pullen *et al.*, 2007).

Quadro A.1 – Valores limites de aplicabilidade da ferramenta NN_OVERTOPPING (adaptado de Brito, 2007).

	Mínimo	Máximo
H_{m0} (m)	1,00	1,00
$s_{m-1,0}$	0,07	0,01
β (°)	0,00	80,00
h (m)	0,90	20,00
h_t (m)	0,50	20,00
B_t (m)	0,00	10,00
γ_f	0,30	1,00
$\cot \alpha_d$	0,00	10,00
$\cot \alpha_u$	-1,00	10,00
B (m)	0,00	15,00
h_b (m)	-1,00	5,00
$\tan \alpha_b$	0,00	0,10
R_c (m)	0,50	5,00
A_c (m)	0,00	5,00
G_c (m)	0,00	10,00

Quadro A.2 – Observações que poderão aparecer na utilização da ferramenta neuronal (Brito, 2007).

Número do erro	Descrição
0	Neste caso, nenhuma observações nem avisos são dados.
1	<p><i>“AVISO> Parâmetro na coluna 5 fora do intervalo de aplicabilidade. Nenhuma previsão é dada”</i></p> <p>Este aviso indicava que o parâmetro de entrada na coluna 5 (a profundidade de água junto à estrutura, h_t) estava fora do limite de aplicabilidade do modelo da rede neuronal. Este aviso pode aparecer para qualquer dos parâmetros de entrada, em relação com os valores indicados no Quadro A.1.</p>
2	<p><i>“AVISO> Para $10^{-6} < Q < 10^{-5}$, a previsão da rede neuronal é menos fiável (indicativo)”</i></p> <p>Esta observação indica que o valor adimensional do caudal médio galgado previsto é pouco preciso no intervalo $10^{-6} < Q < 10^{-5}$ (com $Q = q / \sqrt{gH_s^3}$) e, portanto, o resultado deve ser tido em conta apenas como indicativo.</p>
3	<p><i>“AVISO> Para $Q < 10^{-6}$, nenhuma previsão é dada”</i></p> <p>Esta observação indica que o valor adimensional do caudal médio galgado (Q) previsto apresenta valores inferiores a 10^{-6} (com $Q = q / \sqrt{gH_s^3}$) e, por isso, o resultado toma o valor -1, por defeito.</p>
4	<p><i>“OBSERVAÇÃO> Para estruturas de talude rugoso, é aplicado um factor de correcção: $q =$”</i></p> <p>Com esta observação é dada a possibilidade de escolher entre o resultado previsto pelo modelo da rede neuronal ou um valor corrigido para ter em conta efeitos de escala e efeitos do vento. Para estruturas de talude rugoso, $Y_f < 0,9$ e $\cot \alpha > 1$.</p>
5	<p><i>“OBSERVAÇÃO> Para estruturas de talude rugoso, é aplicado um factor de correcção: $q =$, uma vez que no intervalo $10^{-6} < Q < 10^{-5}$, a previsão não é fiável (indicativo)”</i></p> <p>Com esta observação é dada a possibilidade de escolher entre o resultado previsto pelo modelo da rede neuronal ou um valor corrigido para ter em conta efeitos de escala e efeitos do vento.</p> <p>Para estruturas de talude rugoso, $Y_f < 0,9$ e $\cot \alpha > 1$. O operador avisa também que o valor adimensional do caudal médio galgado previsto é pouco preciso no intervalo $10^{-6} < Q < 10^{-5}$, (com $Q = q / \sqrt{gH_s^3}$) e, portanto, o resultado deve ser considerado menos fiável, ou apenas como indicativo.</p>

Número do erro	Descrição
6	<p><i>“OBSERVAÇÃO> Para estruturas de parede vertical, um factor de correcção é aplicado: q=”</i></p> <p>Com esta observação é dada a possibilidade de escolher entre o resultado previsto pelo modelo da rede neuronal ou um valor corrigido para ter em conta efeitos do vento, Para paredes lisas ($Y_f > 0,9$) e estruturas de parede vertical ($\cot \alpha < 1$).</p>
7	<p><i>“OBSERVAÇÃO> Para estruturas de parede vertical, um factor de correcção é aplicado: q=” uma vez que no intervalo $10^{-6} < Q < 10^{-5}$, a previsão não é fiável (indicativo)”</i></p> <p>Com esta observação é dada a possibilidade de escolher entre o resultado previsto pelo modelo da rede neuronal ou um valor corrigido para explicar efeitos de vento. Para paredes lisas ($Y_f > 0,9$) e estruturas de parede vertical ($\cot \alpha < 1$). O operador avisa também que o valor adimensional do caudal médio galgado previsto é pouco preciso no intervalo $10^{-6} < Q < 10^{-5}$, (com $Q = q / \sqrt{gH_s^3}$) e, portanto, o resultado deve ser considerado menos fiável, ou apenas como indicativo.</p>

Anexo B – Molhe do porto comercial de Ponta Delgada



Figura B.1 – a) e b) Fotografias do molhe do cais comercial de Ponta Delgada
(Fonte: Google).



Figura B.2 – a) e b) Operações no molhe do cais comercial de Ponta Delgada
(Fonte: Google).

Anexo C – Piscina natural



Figura C.1 – a) e b) Fotografias ilustrativas da piscina natural (Panoramio).

Anexo D – Empreendimento Portas do Mar



Figura D.1 – a) e b) Fotografias do terminal de cruzeiros, empreendimento Portas do Mar.



Figura D.2 – Vista do terminal de cruzeiros, empreendimento Portas do Mar.

Anexo E – Molhe da marina nascente



Figura E.1 – a) Vista geral e b) detalhe do molhe da marina nascente.



Figura E.2 – a) e b) Fotografias do molhe da marina nascente.

Anexo F – Planta e perfis-tipo do molhe do cais comercial

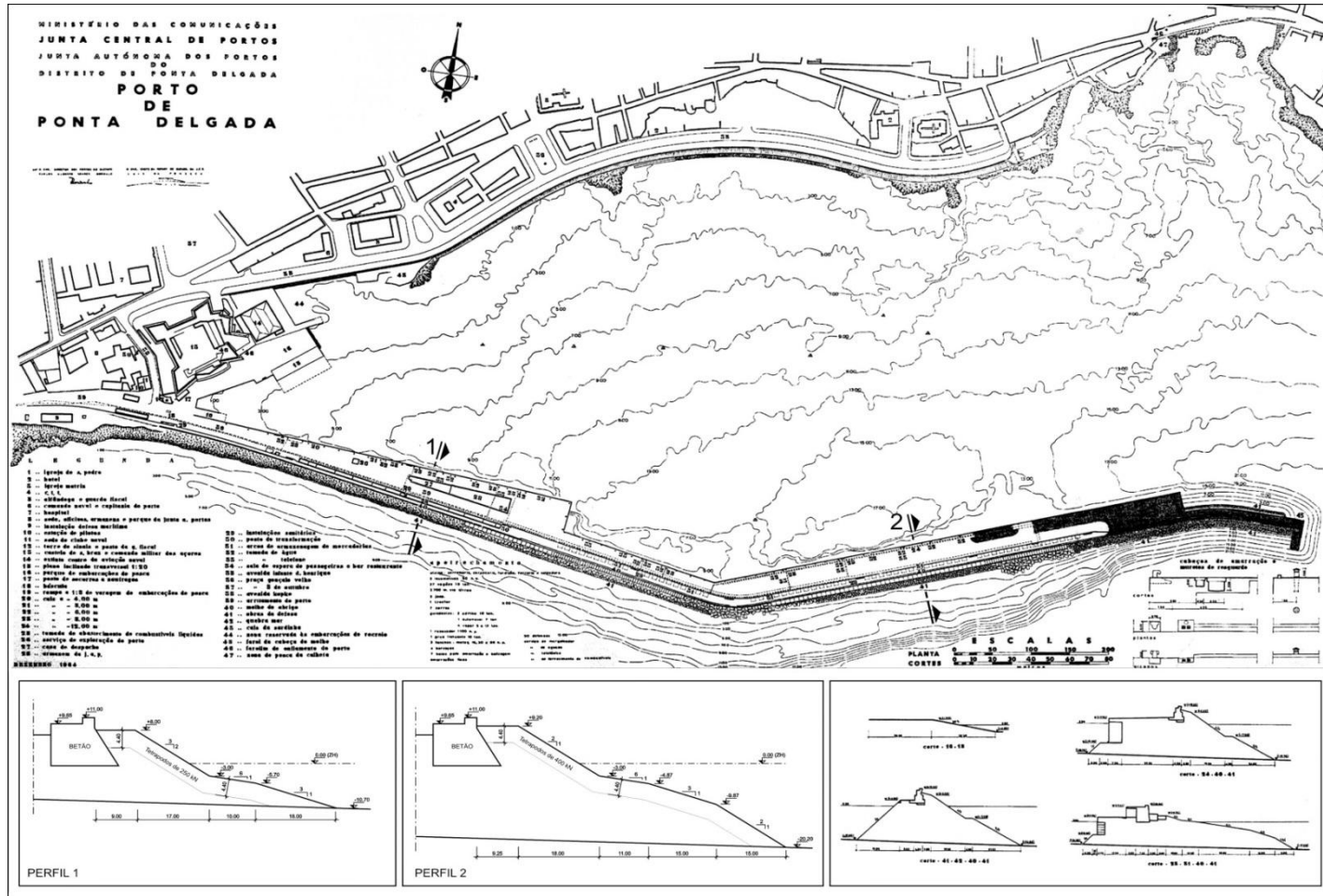


Figura F.1 – Planta referente ao molhe do cais comercial e respetivas secções transversais, ponto D1 – perfil 1 e ponto D2 – perfil 2 (Porto de Ponta Delgada, 1964, com algumas alterações nos perfis).

Anexo H – Planta e perfil-tipo do terminal dos cruzeiros

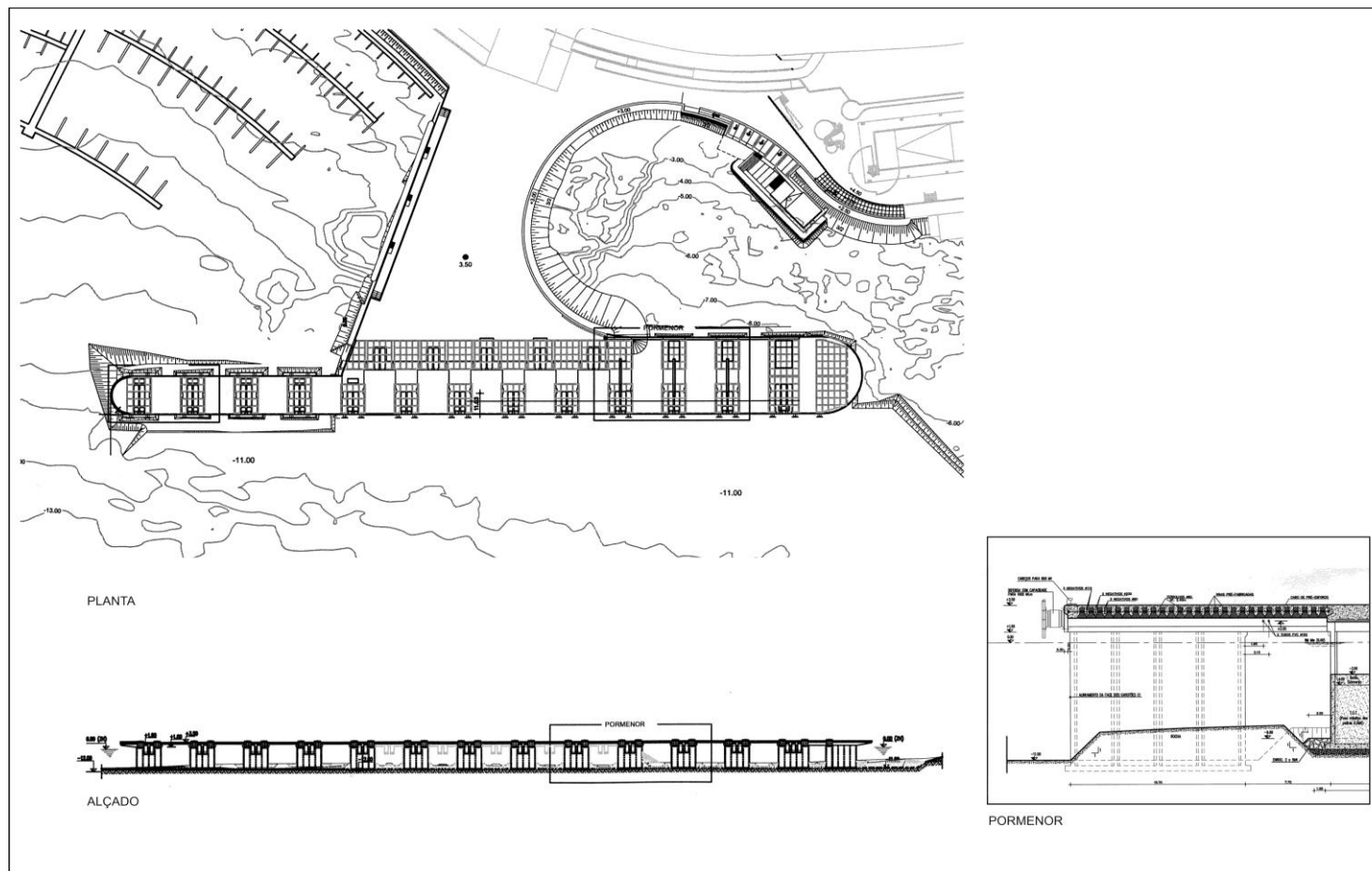


Figura H.1 – Planta referente ao terminal de cruzeiros e respetivo perfil tipo em estudo – ponto D4 (Fonte: Projeto Consulmar).

Anexo I – Planta e perfil-tipo do molhe da marina nascente

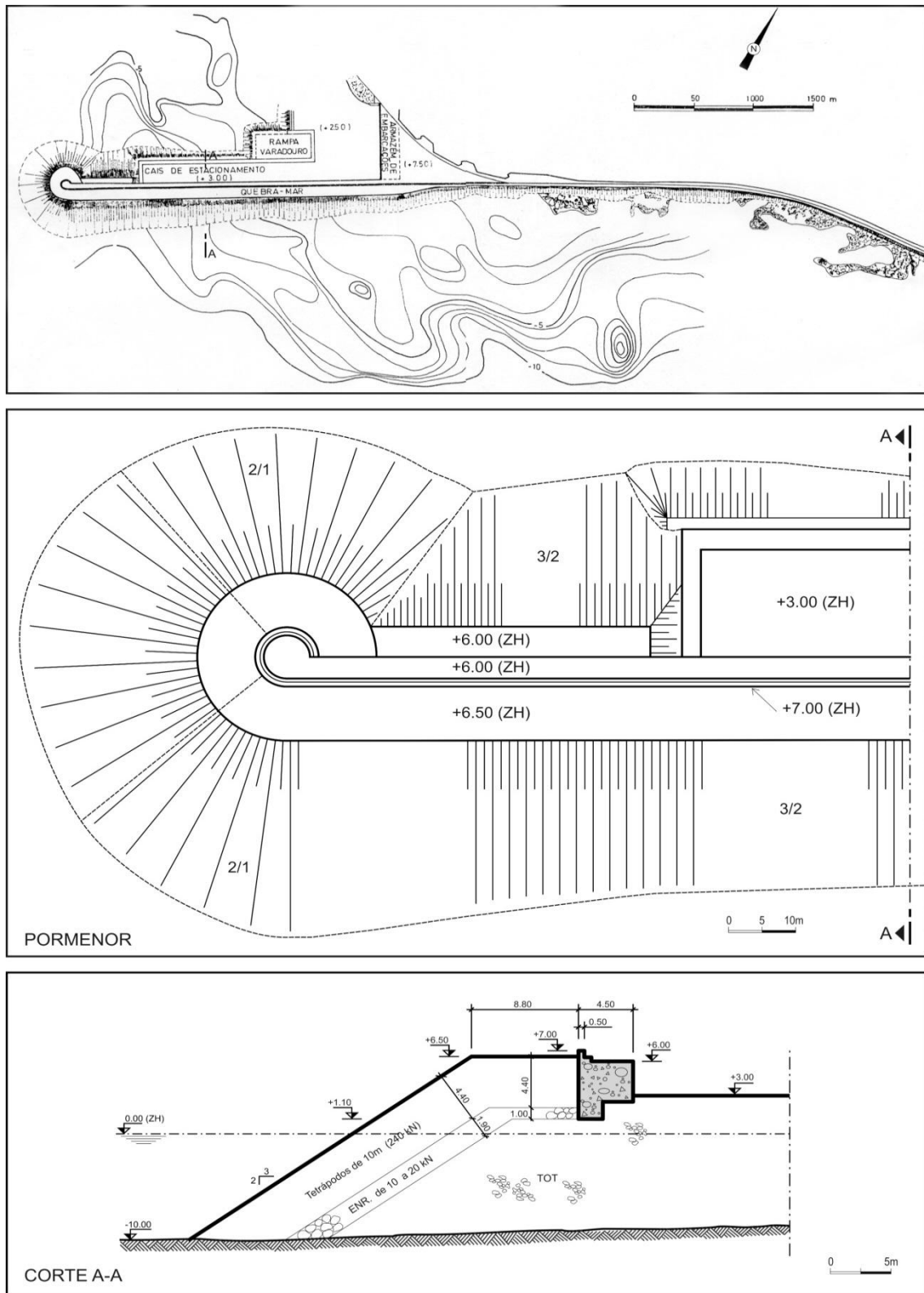


Figura I.1 – Plantas referentes à marina nascente e respetivo perfil da estrutura de proteção em estudo – ponto D5 (LNEC, 2004).

Anexo J – Carta da Ilha de São Miguel

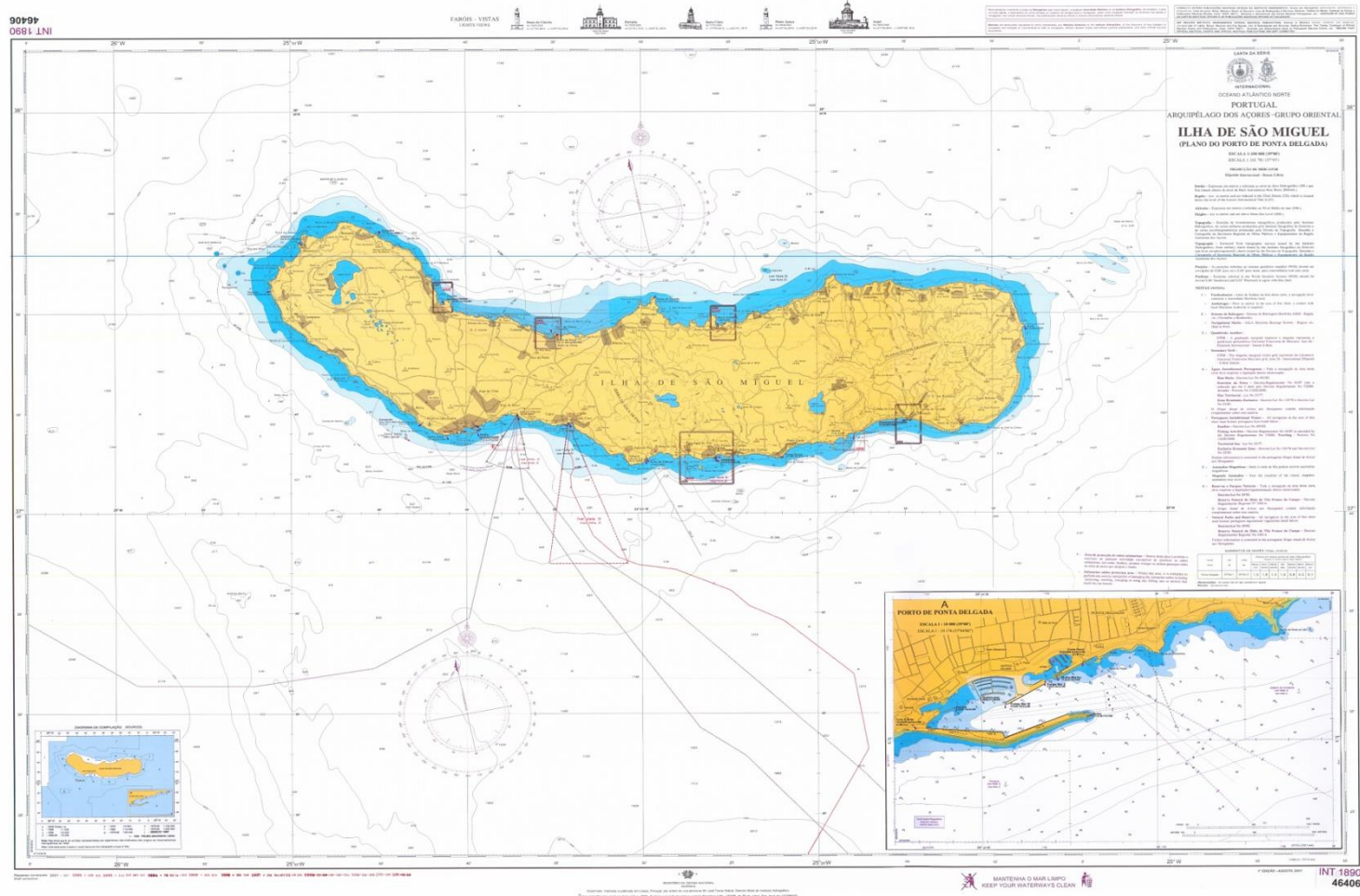


Figura J.1 – Carta da Ilha de São Miguel, Plano do Porto de Ponta Delgada (IH).

Anexo K – Dados de entrada no modelo SWAN

Relativamente aos dados de agitação marítima introduzidos no modelo SWAN, referentes ao período de 2011 a 2012 (dois anos), no quadro a seguir está apenas representada uma pequena parte dos mesmos.

Quadro K.1 – Exemplo dos dados a introduzir no modelo SWAN (dados oriundos do modelo WWIII).

Data	Hora			Hs (m)	Dir (°)	fp (1/T) (Hz)	Dir (°)	NM (m)
	(h)	(min)	(s)					
20110101	0	0	0	3,56	270,00	0,08	270,00	1,93
20110101	6	0	0	3,18	263,00	0,09	263,00	0,92
20110101	12	0	0	3,06	255,00	0,10	255,00	1,90
20110101	18	0	0	2,93	241,00	0,11	241,00	0,87
20110102	0	0	0	2,48	247,00	0,11	247,00	1,96
20110102	6	0	0	2,31	252,00	0,11	252,00	0,92
20110102	12	0	0	2,60	251,00	0,11	251,00	1,86
20110102	18	0	0	2,56	249,00	0,11	249,00	0,93
20110103	0	0	0	2,47	252,00	0,11	252,00	1,88
20110103	6	0	0	2,24	255,00	0,12	255,00	1,03
20110103	12	0	0	2,01	255,00	0,12	255,00	1,73
20110103	18	0	0	1,91	250,00	0,12	250,00	1,06
20110104	0	0	0	1,91	233,00	0,13	233,00	1,73
20110104	6	0	0	2,50	211,00	0,14	211,00	1,20
20110104	12	0	0	3,14	238,00	0,12	238,00	1,54
20110104	18	0	0	2,99	243,00	0,12	243,00	1,24
20110105	0	0	0	3,52	250,00	0,11	250,00	1,55
20110105	6	0	0	4,07	255,00	0,10	255,00	1,41
20110105	12	0	0	4,69	257,00	0,10	257,00	1,35
20110105	18	0	0	4,28	258,00	0,11	258,00	1,43
20110106	0	0	0	4,49	262,00	0,11	262,00	1,36
20110106	6	0	0	4,86	267,00	0,11	267,00	1,60
20110106	12	0	0	5,26	271,00	0,11	271,00	1,17
20110106	18	0	0	5,49	278,00	0,10	278,00	1,59
20110107	1	0	0	5,36	286,00	0,10	286,00	1,19
20110107	6	0	0	4,87	295,00	0,10	295,00	1,75
20110107	12	0	0	5,09	307,00	0,10	307,00	1,04
20110107	18	0	0	4,84	320,00	0,10	320,00	1,70
20110108	0	0	0	4,80	334,00	0,10	334,00	1,08
20110108	6	0	0	4,11	339,00	0,10	339,00	1,85
20110108	12	0	0	3,83	344,00	0,10	344,00	0,97
20110108	18	0	0	3,31	345,00	0,10	345,00	1,76

Anexo L – Comparação entre os resultados do modelo SWAN e as medições *in situ*

Quadro L.1 - Comparação dos resultados do modelo SWAN com os dados medidos *in situ* no espaço temporal de dois meses e diferença de valores entre os dois métodos.

Data/Hora	Modelo SWAN			Boia Ondógrafo			Diferenças entre os dois métodos		
	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m
	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)
01/04/2012 00:00	1,75	9,10	272,54	1,94	10,90	280,00	0,19	1,80	7,46
01/04/2012 06:00	1,64	9,10	274,78	1,78	10,90	277,00	0,14	1,80	2,22
01/04/2012 12:00	1,77	8,23	280,34	1,32	10,20	269,00	0,45	1,97	11,34
01/04/2012 18:00	1,57	8,23	282,50	1,26	8,60	280,00	0,31	0,37	2,50
02/04/2012 00:00	1,47	8,23	281,43	1,35	10,90	281,00	0,12	2,67	0,43
02/04/2012 06:00	1,59	9,10	278,06	1,44	10,20	283,00	0,15	1,10	4,94
02/04/2012 12:00	1,61	9,10	275,80	1,53	11,70	284,00	0,08	2,60	8,20
02/04/2012 18:00	1,65	9,10	278,00	1,73	10,20	281,00	0,08	1,10	3,00
03/04/2012 00:00	1,72	9,10	281,30	1,63	10,90	276,00	0,09	1,80	5,30
03/04/2012 06:00	1,74	9,10	281,30	2,26	10,90	291,00	0,52	1,80	9,70
03/04/2012 12:00	2,09	9,10	282,41	1,92	10,90	283,00	0,17	1,80	0,59
03/04/2012 18:00	1,86	8,23	285,46	1,55	10,90	285,00	0,31	2,67	0,46
04/04/2012 00:00	1,71	8,23	289,88	1,67	9,40	276,00	0,04	1,17	13,88
04/04/2012 06:00	1,59	7,44	294,59	1,57	10,20	285,00	0,02	2,76	9,59
04/04/2012 18:00	1,29	7,44	299,65	1,10	7,80	283,00	0,19	0,36	16,65
05/04/2012 00:00	1,19	8,23	299,59	1,13	8,60	284,00	0,06	0,37	15,59
05/04/2012 06:00	1,36	9,10	292,73	1,36	10,20	287,00	0,00	1,10	5,73
05/04/2012 12:00	1,57	9,10	285,28	1,49	10,90	290,00	0,08	1,80	4,72
05/04/2012 18:00	1,58	9,10	284,33	1,46	11,70	285,00	0,12	2,60	0,67
06/04/2012 00:00	1,72	10,07	282,20	1,53	11,70	278,00	0,19	1,63	4,20
06/04/2012 06:00	2,11	11,14	279,74	2,26	11,70	276,00	0,15	0,56	3,74
06/04/2012 12:00	2,23	10,07	296,57	1,79	10,20	281,00	0,44	0,13	15,57
06/04/2012 18:00	0,91	10,07	309,70	2,17	12,50	285,00	1,26	2,43	24,70
07/04/2012 00:00	0,28	9,10	309,27	1,32	11,70	264,00	1,04	2,60	45,27
07/04/2012 06:00	0,13	9,10	310,56	1,31	11,70	280,00	1,18	2,60	30,56
07/04/2012 12:00	0,11	9,10	310,87	1,23	10,90	283,00	1,12	1,80	27,87
07/04/2012 18:00	0,09	8,23	311,10	1,14	11,70	281,00	1,05	3,47	30,10
08/04/2012 00:00	0,08	8,23	311,33	0,98	10,20	280,00	0,90	1,97	31,33
08/04/2012 06:00	0,07	8,23	311,57	0,93	11,70	280,00	0,86	3,47	31,57
08/04/2012 12:00	0,06	7,44	311,95	0,77	10,90	285,00	0,71	3,46	26,95
08/04/2012 18:00	0,05	7,44	312,25	0,69	9,40	277,00	0,64	1,96	35,25
09/04/2012 00:00	0,04	7,44	312,36	0,89	10,90	288,00	0,85	3,46	24,36
09/04/2012 06:00	0,04	6,72	312,36	0,83	9,40	291,00	0,79	2,68	21,36
09/04/2012 12:00	0,04	6,72	312,40	0,68	9,40	281,00	0,64	2,68	31,40

Data/Hora	Modelo SWAN			Boia Ondógrafo			Diferenças entre os dois métodos		
	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m
	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)
09/04/2012 18:00	0,04	6,72	312,25	0,76	10,90	281,00	0,72	4,18	31,25
10/04/2012 00:00	0,05	6,72	312,11	0,75	9,40	283,00	0,70	2,68	29,11
10/04/2012 06:00	0,05	6,72	311,59	0,82	10,90	284,00	0,77	4,18	27,59
10/04/2012 12:00	0,06	6,72	310,37	0,63	4,70	273,00	0,57	2,02	37,37
10/04/2012 18:00	0,07	6,72	309,03	0,61	8,60	281,00	0,54	1,88	28,03
11/04/2012 00:00	0,10	6,72	309,25	0,52	8,60	288,00	0,42	1,88	21,25
11/04/2012 12:00	0,23	9,10	310,20	0,65	10,90	278,00	0,42	1,80	32,20
11/04/2012 18:00	0,26	9,10	310,43	0,99	10,90	298,00	0,73	1,80	12,43
12/04/2012 00:00	0,30	8,23	311,98	0,82	7,80	285,00	0,52	0,43	26,98
12/04/2012 06:00	0,29	7,44	312,80	0,77	8,60	278,00	0,48	1,16	34,80
12/04/2012 12:00	0,28	8,23	312,45	0,64	8,60	291,00	0,36	0,37	21,45
12/04/2012 18:00	0,26	8,23	311,67	0,71	7,80	280,00	0,45	0,43	31,67
13/04/2012 00:00	0,21	9,10	310,56	0,65	8,60	291,00	0,44	0,50	19,56
13/04/2012 06:00	0,18	9,10	310,10	0,63	8,60	278,00	0,45	0,50	32,10
13/04/2012 18:00	0,17	7,44	311,03	0,63	6,20	285,00	0,46	1,24	26,03
14/04/2012 00:00	0,13	8,23	310,34	0,63	7,00	292,00	0,50	1,23	18,34
14/04/2012 06:00	0,11	8,23	309,78	0,59	7,00	287,00	0,48	1,23	22,78
14/04/2012 12:00	0,12	8,23	309,65	0,58	7,00	283,00	0,46	1,23	26,65
14/04/2012 18:00	0,13	9,10	309,69	0,48	6,20	297,00	0,35	2,90	12,69
15/04/2012 00:00	0,13	9,10	309,81	0,45	8,60	281,00	0,32	0,50	28,81
15/04/2012 06:00	0,12	9,10	309,36	0,50	7,80	288,00	0,38	1,30	21,36
15/04/2012 12:00	0,10	9,10	309,12	0,53	7,80	290,00	0,43	1,30	19,12
15/04/2012 18:00	0,09	9,10	309,16	0,49	9,40	281,00	0,40	0,30	28,16
16/04/2012 00:00	0,07	9,10	309,37	0,43	8,60	280,00	0,36	0,50	29,37
16/04/2012 06:00	0,07	9,10	309,18	0,38	10,90	240,00	0,31	1,80	69,18
16/04/2012 12:00	0,09	8,23	309,33	0,75	10,20	291,00	0,66	1,97	18,33
16/04/2012 18:00	0,32	9,10	311,29	0,59	9,40	301,00	0,27	0,30	10,29
17/04/2012 00:00	0,49	9,10	307,08	0,64	9,40	288,00	0,15	0,30	19,08
17/04/2012 06:00	0,51	9,10	305,34	0,72	10,90	294,00	0,21	1,80	11,34
17/04/2012 12:00	0,78	9,10	301,12	0,58	7,00	291,00	0,20	2,10	10,12
17/04/2012 18:00	0,71	9,10	300,46	0,54	8,60	278,00	0,17	0,50	22,46
18/04/2012 00:00	0,49	9,10	307,29	0,65	7,80	287,00	0,16	1,30	20,29
18/04/2012 06:00	0,14	7,44	312,55	0,58	9,40	291,00	0,44	1,96	21,55
18/04/2012 12:00	0,17	7,44	312,65	0,60	11,70	294,00	0,43	4,26	18,65
18/04/2012 18:00	0,21	9,10	310,18	0,60	5,50	298,00	0,39	3,60	12,18
19/04/2012 00:00	0,25	10,07	308,70	0,62	6,20	304,00	0,37	3,87	4,70
19/04/2012 06:00	0,24	10,07	309,66	0,52	11,70	292,00	0,28	1,63	17,66
19/04/2012 12:00	0,23	9,10	310,75	0,55	7,80	301,00	0,32	1,30	9,75
19/04/2012 18:00	0,19	9,10	310,27	0,52	3,90	291,00	0,33	5,20	19,27
20/04/2012 06:00	0,14	9,10	308,76	0,48	9,40	284,00	0,34	0,30	24,76

Data/Hora	Modelo SWAN			Boia Ondógrafo			Diferenças entre os dois métodos		
	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m
	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)
20/04/2012 12:00	0,15	9,10	309,16	0,49	8,60	294,00	0,34	0,50	15,16
20/04/2012 18:00	0,14	8,23	309,33	0,45	9,40	285,00	0,31	1,17	24,33
21/04/2012 00:00	0,15	8,23	309,70	0,44	8,60	290,00	0,29	0,37	19,70
21/04/2012 06:00	0,14	8,23	309,86	0,42	11,70	273,00	0,28	3,47	36,86
21/04/2012 12:00	0,14	8,23	310,13	0,46	8,60	281,00	0,32	0,37	29,13
21/04/2012 18:00	0,13	8,23	310,15	0,47	9,40	278,00	0,34	1,17	32,15
22/04/2012 06:00	0,11	8,23	310,51	0,40	9,40	288,00	0,29	1,17	22,51
22/04/2012 12:00	0,10	8,23	310,65	0,38	8,60	259,00	0,28	0,37	51,65
22/04/2012 18:00	0,09	7,44	310,77	0,39	4,70	187,00	0,30	2,74	123,77
23/04/2012 00:00	0,08	7,44	310,15	0,41	9,40	260,00	0,33	1,96	50,15
23/04/2012 06:00	0,07	8,23	309,37	0,38	7,80	276,00	0,31	0,43	33,37
23/04/2012 12:00	0,07	9,10	309,29	0,38	8,60	277,00	0,31	0,50	32,29
23/04/2012 18:00	0,07	9,10	309,33	0,44	8,60	263,00	0,37	0,50	46,33
24/04/2012 00:00	0,07	9,10	309,20	0,53	7,80	264,00	0,46	1,30	45,20
24/04/2012 06:00	0,08	10,07	309,23	0,57	8,60	267,00	0,49	1,47	42,23
24/04/2012 12:00	0,09	9,10	309,17	0,51	7,80	264,00	0,42	1,30	45,17
24/04/2012 18:00	0,25	7,44	312,21	0,68	5,50	270,00	0,43	1,94	42,21
25/04/2012 00:00	0,60	6,72	311,88	0,96	3,90	276,00	0,36	2,82	35,88
25/04/2012 06:00	0,68	6,08	310,95	1,28	5,50	283,00	0,60	0,58	27,95
25/04/2012 12:00	0,27	6,08	314,22	1,05	5,50	291,00	0,78	0,58	23,22
25/04/2012 18:00	0,21	9,10	308,99	0,95	4,70	280,00	0,74	4,40	28,99
26/04/2012 00:00	0,34	10,07	308,10	1,18	7,00	285,00	0,84	3,07	23,10
26/04/2012 06:00	0,35	10,07	308,53	1,22	6,20	311,00	0,87	3,87	2,47
26/04/2012 12:00	0,35	10,07	308,63	1,12	8,60	304,00	0,77	1,47	4,63
26/04/2012 18:00	0,36	10,07	308,66	1,23	7,00	309,00	0,87	3,07	0,34
27/04/2012 00:00	0,32	9,10	308,75	0,81	6,20	309,00	0,49	2,90	0,25
27/04/2012 06:00	0,27	9,10	309,08	0,88	7,00	300,00	0,61	2,10	9,07
27/04/2012 12:00	0,20	9,10	309,52	0,76	8,60	308,00	0,56	0,50	1,52
27/04/2012 18:00	0,16	9,10	310,18	0,78	7,80	290,00	0,62	1,30	20,18
28/04/2012 00:00	0,16	9,10	310,26	0,64	8,60	298,00	0,48	0,50	12,26
28/04/2012 06:00	0,15	9,10	310,22	0,82	6,20	291,00	0,67	2,90	19,22
28/04/2012 12:00	0,14	9,10	310,35	0,75	5,50	287,00	0,61	3,60	23,35
28/04/2012 18:00	0,14	8,23	310,64	0,81	4,70	285,00	0,67	3,53	25,64
29/04/2012 00:00	0,12	8,23	311,15	0,67	7,80	292,00	0,55	0,43	19,15
29/04/2012 06:00	0,10	8,23	311,33	0,54	6,20	285,00	0,44	2,03	26,33
29/04/2012 12:00	0,09	8,23	311,46	0,46	8,60	284,00	0,37	0,37	27,46
29/04/2012 18:00	0,08	8,23	311,54	0,47	7,80	288,00	0,39	0,43	23,54
30/04/2012 00:00	0,07	8,23	311,56	0,44	10,20	295,00	0,37	1,97	16,56
30/04/2012 06:00	0,06	8,23	311,37	0,42	8,60	276,00	0,36	0,37	35,37
30/04/2012 12:00	0,05	8,23	311,29	0,43	4,70	288,00	0,38	3,53	23,29

Data/Hora	Modelo SWAN			Boia Ondógrafo			Diferenças entre os dois métodos		
	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m
	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)
30/04/2012 18:00	0,05	8,23	311,41	0,49	8,60	281,00	0,44	0,37	30,41
01/05/2012 00:00	0,05	8,23	311,77	0,41	7,00	270,00	0,36	1,23	41,77
01/05/2012 06:00	0,06	7,44	311,73	0,57	3,90	248,00	0,51	3,54	63,73
01/05/2012 12:00	0,07	7,44	310,50	0,98	4,70	277,00	0,91	2,74	33,50
01/05/2012 18:00	0,11	6,72	308,97	1,07	8,60	292,00	0,96	1,88	16,97
02/05/2012 00:00	0,10	7,44	310,90	1,03	7,80	305,00	0,93	0,36	5,90
02/05/2012 06:00	0,10	8,23	311,27	0,96	7,00	287,00	0,86	1,23	24,27
02/05/2012 12:00	0,11	8,23	311,14	0,97	7,80	288,00	0,86	0,43	23,14
02/05/2012 18:00	0,11	8,23	310,91	1,01	3,10	278,00	0,90	5,13	32,91
03/05/2012 00:00	0,12	9,10	310,69	1,05	5,50	304,00	0,93	3,60	6,69
03/05/2012 06:00	0,12	9,10	310,57	0,91	7,80	292,00	0,79	1,30	18,57
03/05/2012 12:00	0,10	9,10	310,81	0,81	4,70	287,00	0,71	4,40	23,81
03/05/2012 18:00	0,09	8,23	310,92	0,75	9,40	284,00	0,66	1,17	26,92
04/05/2012 00:00	0,08	8,23	311,17	0,71	9,40	280,00	0,63	1,17	31,17
04/05/2012 06:00	0,08	8,23	311,28	0,65	9,40	281,00	0,57	1,17	30,28
04/05/2012 12:00	0,09	8,23	310,67	1,13	6,20	276,00	1,04	2,03	34,67
04/05/2012 18:00	0,14	8,23	309,48	1,33	7,00	242,00	1,19	1,23	67,48
05/05/2012 00:00	0,26	7,44	312,79	1,08	9,40	264,00	0,82	1,96	48,79
05/05/2012 06:00	0,34	7,44	313,50	1,01	7,80	194,00	0,67	0,36	119,50
05/05/2012 12:00	0,19	7,44	312,75	1,03	8,60	201,00	0,84	1,16	111,75
05/05/2012 18:00	0,06	7,44	309,45	0,83	10,20	205,00	0,77	2,76	104,45
06/05/2012 00:00	0,01	6,08	94,43	0,89	3,10	194,00	0,88	2,98	99,57
06/05/2012 06:00	1,34	6,08	234,01	1,08	5,50	194,00	0,26	0,58	40,01
06/05/2012 12:00	1,60	6,72	226,93	1,67	7,80	219,00	0,07	1,08	7,93
06/05/2012 18:00	1,85	7,44	224,92	2,00	8,60	233,00	0,15	1,16	8,08
07/05/2012 00:00	1,88	7,44	222,92	1,65	8,60	240,00	0,23	1,16	17,08
07/05/2012 06:00	1,86	7,44	227,94	2,04	10,20	255,00	0,18	2,76	27,06
07/05/2012 12:00	1,95	6,72	233,00	2,36	8,60	262,00	0,41	1,88	29,00
07/05/2012 18:00	1,95	6,72	230,96	2,04	7,00	260,00	0,09	0,28	29,04
08/05/2012 00:00	1,96	6,72	233,00	1,99	7,00	257,00	0,03	0,28	24,00
08/05/2012 06:00	1,96	6,72	237,07	2,42	7,80	245,00	0,46	1,08	7,93
08/05/2012 12:00	2,01	7,44	240,10	2,34	9,40	276,00	0,33	1,96	35,90
08/05/2012 18:00	1,91	6,72	235,03	2,10	7,00	277,00	0,19	0,28	41,97
09/05/2012 00:00	1,87	6,72	230,95	2,09	7,00	273,00	0,22	0,28	42,05
09/05/2012 06:00	2,03	6,72	237,09	1,99	7,80	249,00	0,04	1,08	11,91
09/05/2012 12:00	2,10	7,44	250,04	2,06	7,80	231,00	0,04	0,36	19,04
09/05/2012 18:00	2,27	7,44	255,82	2,12	7,00	246,00	0,15	0,44	9,82
10/05/2012 00:00	2,45	8,23	268,27	1,95	7,80	257,00	0,50	0,43	11,27
10/05/2012 06:00	2,53	8,23	274,88	1,95	7,80	250,00	0,58	0,43	24,88
10/05/2012 12:00	1,73	8,23	305,28	1,99	9,40	256,00	0,26	1,17	49,28

Data/Hora	Modelo SWAN			Boia Ondógrafo			Diferenças entre os dois métodos		
	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m
	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)
10/05/2012 18:00	0,27	8,23	310,33	2,32	7,80	240,00	2,05	0,43	70,33
11/05/2012 00:00	0,14	8,23	310,18	1,33	7,80	256,00	1,19	0,43	54,18
11/05/2012 06:00	0,11	8,23	311,44	1,41	7,00	233,00	1,30	1,23	78,44
11/05/2012 12:00	0,08	7,44	311,80	1,07	7,80	246,00	0,99	0,36	65,80
11/05/2012 18:00	0,07	7,44	311,91	1,00	7,00	235,00	0,93	0,44	76,91
12/05/2012 00:00	0,05	7,44	311,94	0,90	3,90	124,00	0,85	3,54	187,94
12/05/2012 06:00	0,04	7,44	312,38	0,71	7,00	229,00	0,67	0,44	83,38
12/05/2012 12:00	0,03	7,44	312,84	0,65	10,20	198,00	0,62	2,76	114,84
12/05/2012 18:00	0,03	7,44	312,86	0,96	5,50	193,00	0,93	1,94	119,86
13/05/2012 00:00	0,03	8,23	312,45	0,74	6,20	188,00	0,71	2,03	124,45
13/05/2012 06:00	0,03	8,23	312,14	0,65	10,90	194,00	0,62	2,67	118,14
13/05/2012 12:00	0,03	8,23	311,91	0,68	10,90	198,00	0,65	2,67	113,91
13/05/2012 18:00	0,03	8,23	311,76	1,23	7,80	224,00	1,20	0,43	87,76
14/05/2012 12:00	0,03	7,44	87,39	1,20	5,50	124,00	1,17	1,94	36,62
14/05/2012 18:00	0,05	7,44	96,85	0,88	6,20	121,00	0,83	1,24	24,15
15/05/2012 06:00	0,05	7,44	96,68	0,87	4,70	124,00	0,82	2,74	27,33
15/05/2012 12:00	0,07	7,44	97,31	0,72	4,70	207,00	0,65	2,74	109,69
15/05/2012 18:00	0,08	7,44	97,43	0,59	6,20	191,00	0,51	1,24	93,57
16/05/2012 00:00	0,07	7,44	97,45	0,62	6,20	194,00	0,55	1,24	96,55
16/05/2012 06:00	0,06	7,44	97,21	0,65	10,90	269,00	0,59	3,46	171,79
16/05/2012 12:00	0,03	8,23	85,31	0,66	11,70	187,00	0,63	3,47	101,69
16/05/2012 18:00	0,02	8,23	313,88	0,61	10,90	186,00	0,59	2,67	127,88
17/05/2012 00:00	0,06	8,23	311,45	0,69	6,20	183,00	0,63	2,03	128,45
17/05/2012 06:00	0,09	9,10	310,73	0,69	7,00	187,00	0,60	2,10	123,73
17/05/2012 12:00	0,10	9,10	310,59	0,75	12,50	183,00	0,65	3,40	127,59
17/05/2012 18:00	0,10	9,10	310,68	0,60	13,30	184,00	0,50	4,20	126,68
18/05/2012 00:00	0,09	9,10	311,07	0,54	7,80	194,00	0,45	1,30	117,07
18/05/2012 06:00	0,07	8,23	311,36	0,51	12,50	190,00	0,44	4,27	121,36
18/05/2012 12:00	0,07	8,23	311,64	0,62	10,90	194,00	0,55	2,67	117,64
18/05/2012 18:00	0,07	7,44	311,69	0,47	7,80	200,00	0,40	0,36	111,69
19/05/2012 00:00	0,09	8,23	311,34	0,58	5,50	217,00	0,49	2,73	94,34
19/05/2012 06:00	0,10	8,23	310,95	0,52	4,70	186,00	0,42	3,53	124,95
19/05/2012 12:00	0,11	8,23	310,53	0,52	7,80	186,00	0,41	0,43	124,53
19/05/2012 18:00	0,11	8,23	310,52	0,60	5,50	174,00	0,49	2,73	136,52
20/05/2012 00:00	0,11	8,23	310,56	0,49	5,50	187,00	0,38	2,73	123,56
20/05/2012 06:00	0,10	9,10	310,55	0,62	3,90	312,00	0,52	5,20	1,45
20/05/2012 12:00	0,10	9,10	310,58	0,49	5,50	184,00	0,39	3,60	126,58
20/05/2012 18:00	0,09	9,10	310,65	0,46	3,10	195,00	0,37	6,00	115,65
21/05/2012 00:00	0,08	8,23	310,66	0,50	3,10	166,00	0,42	5,13	144,66
21/05/2012 06:00	0,13	7,44	309,89	0,76	5,50	300,00	0,63	1,94	9,89

Data/Hora	Modelo SWAN			Boia Ondógrafo			Diferenças entre os dois métodos		
	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m
	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)
21/05/2012 12:00	1,03	6,72	306,67	1,15	4,70	291,00	0,12	2,02	15,67
21/05/2012 18:00	1,57	6,72	282,51	1,86	5,50	294,00	0,29	1,22	11,49
22/05/2012 00:00	2,04	6,72	267,26	2,72	7,00	298,00	0,68	0,28	30,74
22/05/2012 06:00	2,32	7,44	267,25	3,73	7,80	300,00	1,41	0,36	32,75
22/05/2012 12:00	2,32	7,44	273,80	2,54	9,40	295,00	0,22	1,96	21,20
22/05/2012 18:00	2,08	7,44	276,01	2,17	9,40	290,00	0,09	1,96	13,99
23/05/2012 00:00	2,19	8,23	282,49	2,03	7,00	294,00	0,16	1,23	11,51
23/05/2012 06:00	2,39	9,10	288,89	2,12	8,60	285,00	0,27	0,50	3,89
23/05/2012 12:00	2,39	9,10	293,33	2,02	9,40	290,00	0,37	0,30	3,32
23/05/2012 18:00	2,27	9,10	296,82	1,81	10,20	295,00	0,46	1,10	1,82
24/05/2012 00:00	2,23	9,10	300,83	1,53	9,40	294,00	0,70	0,30	6,83
24/05/2012 06:00	1,82	9,10	303,31	1,75	10,20	297,00	0,07	1,10	6,31
24/05/2012 12:00	1,52	9,10	304,97	1,30	7,80	300,00	0,22	1,30	4,96
24/05/2012 18:00	1,32	8,23	306,15	1,51	5,50	288,00	0,19	2,73	18,15
25/05/2012 00:00	1,11	8,23	307,20	1,15	7,00	295,00	0,04	1,23	12,20
25/05/2012 06:00	0,80	7,44	309,52	1,17	5,50	292,00	0,37	1,94	17,52
25/05/2012 12:00	0,66	7,44	310,40	0,88	9,40	295,00	0,22	1,96	15,40
25/05/2012 18:00	0,59	7,44	310,50	0,79	6,20	302,00	0,20	1,24	8,50
26/05/2012 00:00	0,49	7,44	310,85	0,66	9,40	194,00	0,17	1,96	116,85
26/05/2012 06:00	0,59	7,44	308,43	0,71	7,00	195,00	0,12	0,44	113,43
26/05/2012 12:00	0,85	6,72	300,54	0,87	3,10	266,00	0,02	3,62	34,54
26/05/2012 18:00	1,06	6,08	254,78	1,13	4,70	288,00	0,07	1,38	33,22
27/05/2012 00:00	1,41	6,08	236,07	1,33	5,50	287,00	0,08	0,58	50,93
27/05/2012 06:00	1,77	6,72	251,08	1,93	7,00	277,00	0,16	0,28	25,92
27/05/2012 12:00	1,87	7,44	259,42	1,91	7,80	276,00	0,04	0,36	16,58
27/05/2012 18:00	2,02	7,44	258,51	2,31	6,20	274,00	0,29	1,24	15,49
28/05/2012 00:00	2,19	7,44	263,15	2,06	7,80	271,00	0,13	0,36	7,85
28/05/2012 06:00	2,03	7,44	259,41	1,72	9,40	256,00	0,31	1,96	3,41
28/05/2012 12:00	1,89	7,44	257,63	1,88	7,00	257,00	0,01	0,44	0,63
28/05/2012 18:00	1,81	7,44	259,38	1,67	8,60	277,00	0,14	1,16	17,62
29/05/2012 00:00	1,81	7,44	262,17	1,65	7,00	288,00	0,16	0,44	25,84
29/05/2012 06:00	1,63	7,44	262,14	1,31	7,80	273,00	0,32	0,36	10,86
29/05/2012 12:00	1,57	7,44	260,27	1,34	7,00	287,00	0,23	0,44	26,73
29/05/2012 18:00	1,59	6,72	242,06	1,32	5,50	242,00	0,27	1,22	0,06
30/05/2012 00:00	1,61	6,72	230,96	1,59	7,00	266,00	0,02	0,28	35,04
30/05/2012 06:00	1,74	6,08	225,80	2,08	5,50	264,00	0,34	0,58	38,20
30/05/2012 12:00	1,83	6,08	218,66	2,13	6,20	269,00	0,30	0,12	50,35
30/05/2012 18:00	2,30	6,72	222,72	2,78	7,00	267,00	0,48	0,28	44,28
31/05/2012 00:00	2,64	7,44	228,90	3,16	7,80	273,00	0,52	0,36	44,10
31/05/2012 06:00	2,59	7,44	246,12	3,24	10,20	263,00	0,65	2,76	16,88

Data/Hora	Modelo SWAN			Boia Ondógrafo			Diferenças entre os dois métodos		
	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m
	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)
31/05/2012 12:00	2,42	8,23	249,02	2,54	7,80	281,00	0,12	0,43	31,98
31/05/2012 18:00	2,28	8,23	247,02	2,33	8,60	271,00	0,05	0,37	23,98

Anexo M – Resultados do modelo SWAN para o ponto D2

Dado que os resultados obtidos pelo modelo SWAN para o ponto P2 são extensos, são aqui apenas apresentados os primeiros 14 dias de 2011.

Quadro M.1 – Resultados do modelo SWAN para o ponto P2.

Data/Hora	Modelo SWAN -P2			Data/Hora	Modelo SWAN -P2		
	H _s	T _p	θ _m		H _s	T _p	θ _m
	(m)	(s)	(°)		(m)	(s)	(°)
01/01/2011 00:00	2,68	12,33	259,73	08/01/2011 00:00	0,23	10,07	282,83
01/01/2011 06:00	2,72	11,14	256,58	08/01/2011 06:00	0,15	10,07	282,86
01/01/2011 12:00	2,85	10,07	252,26	08/01/2011 12:00	0,11	10,07	282,31
01/01/2011 18:00	2,77	9,10	240,15	08/01/2011 18:00	0,09	10,07	283,29
02/01/2011 00:00	2,39	9,10	246,16	09/01/2011 00:00	0,15	9,10	288,35
02/01/2011 06:00	2,22	9,10	250,79	09/01/2011 06:00	0,16	9,10	290,15
02/01/2011 12:00	2,49	9,10	250,04	09/01/2011 12:00	0,11	9,10	286,01
02/01/2011 18:00	2,44	9,10	248,25	09/01/2011 18:00	0,11	10,07	285,74
03/01/2011 00:00	2,35	9,10	251,18	10/01/2011 00:00	0,11	10,07	284,84
03/01/2011 06:00	2,14	8,23	253,94	10/01/2011 06:00	0,12	10,07	284,58
03/01/2011 12:00	1,94	8,23	254,10	10/01/2011 12:00	0,15	10,07	285,05
03/01/2011 18:00	1,86	8,23	249,57	10/01/2011 18:00	0,21	10,07	286,39
04/01/2011 00:00	1,83	7,44	232,84	11/01/2011 00:00	0,57	10,07	287,33
04/01/2011 06:00	2,13	6,72	210,68	11/01/2011 06:00	1,29	9,10	283,12
04/01/2011 12:00	2,71	8,23	237,69	11/01/2011 12:00	1,80	8,23	271,34
04/01/2011 18:00	2,65	8,23	242,66	11/01/2011 18:00	2,04	7,44	257,18
05/01/2011 00:00	3,15	9,10	249,01	12/01/2011 00:00	2,35	8,23	256,78
05/01/2011 06:00	3,59	10,07	252,88	12/01/2011 06:00	2,97	9,10	255,05
05/01/2011 12:00	3,95	10,07	254,70	12/01/2011 12:00	3,77	10,07	254,59
05/01/2011 18:00	3,59	9,10	256,03	12/01/2011 18:00	3,92	10,07	255,29
06/01/2011 00:00	3,58	9,10	259,67	13/01/2011 00:00	3,60	11,14	256,37
06/01/2011 06:00	3,68	9,10	263,73	13/01/2011 06:00	3,30	11,14	258,62
06/01/2011 12:00	3,79	9,10	266,43	13/01/2011 12:00	2,89	10,07	262,76
06/01/2011 18:00	3,60	10,07	271,39	13/01/2011 18:00	2,53	10,07	267,13
07/01/2011 00:00	3,00	10,07	276,79	14/01/2011 00:00	2,38	10,07	270,59
07/01/2011 06:00	2,23	10,07	281,60	14/01/2011 06:00	2,09	10,07	273,96
07/01/2011 12:00	1,39	10,07	284,64	14/01/2011 12:00	1,53	11,14	279,60
07/01/2011 18:00	0,58	10,07	285,98	14/01/2011 18:00	0,99	11,14	280,07

Anexo N – Coeficientes de reflexão e absorção adotados

No quadro seguinte, são apresentados os coeficientes de reflexão e absorção para cada período e para cada margem considerados no modelo DREAMS.

Quadro N.1 – Coeficientes de reflexão e absorção em cada margem (adaptado de Silva, 2012).

ZONA	Configuração Aprox	Tipo de Reflexão	T=6		T=8		T=10		T=12		T=14		T=16		T=18		T=20	
			Kr	Kabs	Kr	Kabs	Kr	Kabs	Kr	Kabs	Kr	Kabs	Kr	Kabs	Kr	Kabs	Kr	Kabs
A	Molhe	Antifer	0.23	0.63	0.23	0.63	0.23	0.63	0.23	0.63	0.23	0.63	0.26	0.59	0.29	0.55	0.32	0.52
B	Muro Vertical	Total	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
C	Molhe	Antifer	0.26	0.59	0.26	0.59	0.26	0.59	0.26	0.59	0.30	0.54	0.33	0.50	0.36	0.47	0.38	0.45
D	Muro Vertical	Total	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
E	Rampa suave	Nula	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
F	Muro Vertical	Total	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
G	Talude	Talude_1	0.39	0.44	0.53	0.30	0.64	0.22	0.72	0.16	0.78	0.13	0.82	0.10	0.85	0.08	0.87	0.07
H	Muro Vertical	Total	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
I		Pilar Pref	0.30	0.54	0.30	0.54	0.30	0.54	0.30	0.54	0.30	0.54	0.30	0.54	0.30	0.54	0.30	0.54
J	Talude	Talude_1	0.39	0.44	0.53	0.30	0.64	0.22	0.72	0.16	0.78	0.13	0.82	0.10	0.85	0.08	0.87	0.07
K	Muro Vertical	Total	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
L	Talude	Talude_1	0.39	0.44	0.53	0.30	0.64	0.22	0.72	0.16	0.78	0.13	0.82	0.10	0.85	0.08	0.87	0.07
M	Muro Vertical	Total	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
N	Molhe	Tetrapodes 1:2	0.22	0.64	0.22	0.64	0.28	0.56	0.32	0.52	0.32	0.52	0.32	0.52	0.32	0.52	0.32	0.52
O	Muro Vertical	Total	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
P	Rampa suave	Nula	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
Q	Muro Vertical	Total	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
R	Molhe	Tetrapodes 1:3	0.22	0.64	0.22	0.64	0.22	0.64	0.22	0.64	0.26	0.59	0.29	0.55	0.32	0.52	0.34	0.49
S	Talude	Talude_2	0.41	0.42	0.56	0.28	0.66	0.20	0.74	0.15	0.79	0.12	0.83	0.09	0.86	0.08	0.88	0.06

Anexo O – Resultados obtidos pelo modelo DREAMS

Dado o extenso período de análise, é a seguir mostrada apenas parte (20 dias de 2011) dos resultados obtidos pelo modelo DREAMS relativos às características de agitação marítima nos pontos em estudo.

Quadro O.1 – Resultados obtidos pelo modelo DREAMS para os parâmetros H_s , T_p e θ_m .

Data\Hora	H_s (m)					T_p (s)	θ_m (°)				
	D1	D2	D3	D4	D5	D1	D1	D2	D3	D4	D5
01/01/2011 00:00	1,991	1,558	0,106	0,184	0,291	12,326	204,831	183,152	122,431	106,544	145,171
01/01/2011 06:00	2,033	1,581	0,125	0,196	0,247	11,141	204,386	175,950	116,552	101,009	139,603
01/01/2011 12:00	1,726	1,391	0,124	0,178	0,287	10,071	205,219	180,948	119,788	89,982	145,573
01/01/2011 18:00	1,880	1,957	0,094	0,245	0,255	9,103	204,570	176,648	117,711	108,457	142,853
02/01/2011 00:00	1,344	1,292	0,088	0,171	0,233	9,103	206,457	182,696	119,832	100,454	144,588
02/01/2011 06:00	1,391	1,337	0,059	0,155	0,157	9,103	207,267	177,853	117,625	108,280	142,527
02/01/2011 12:00	1,418	1,246	0,085	0,162	0,221	9,103	207,547	182,432	119,824	100,514	144,495
02/01/2011 18:00	1,498	1,565	0,069	0,183	0,187	9,103	206,801	177,913	117,624	108,374	142,659
03/01/2011 00:00	1,343	1,136	0,078	0,149	0,202	9,103	207,785	182,482	119,815	100,418	144,465
03/01/2011 06:00	1,244	1,074	0,029	0,109	0,116	8,228	209,821	179,566	115,310	105,200	147,891
03/01/2011 12:00	1,084	0,869	0,035	0,105	0,120	8,228	211,118	183,571	119,251	112,108	143,605
03/01/2011 18:00	1,070	1,035	0,029	0,109	0,114	8,228	208,925	179,361	115,566	105,701	148,322
04/01/2011 00:00	1,042	1,164	0,029	0,112	0,144	7,437	208,542	182,964	119,598	115,410	144,469
04/01/2011 06:00	1,610	1,527	0,041	0,157	0,247	6,723	201,166	179,546	118,975	113,330	147,620
04/01/2011 12:00	1,710	1,717	0,058	0,182	0,219	8,228	206,608	180,459	118,521	114,247	144,427
04/01/2011 18:00	1,604	1,611	0,049	0,173	0,195	8,228	207,592	179,712	116,653	109,071	146,823
05/01/2011 00:00	1,901	1,756	0,117	0,208	0,283	9,103	207,726	181,149	119,841	101,664	144,657
05/01/2011 06:00	2,387	1,932	0,172	0,246	0,346	10,071	205,844	178,677	120,976	95,112	143,451
05/01/2011 12:00	2,676	2,043	0,172	0,263	0,346	10,071	206,038	178,181	120,755	97,516	142,485
05/01/2011 18:00	2,286	1,669	0,105	0,195	0,250	9,103	208,888	180,322	119,499	103,411	144,447
06/01/2011 00:00	2,328	1,490	0,088	0,174	0,211	9,103	209,415	179,882	119,141	104,420	144,018
06/01/2011 06:00	2,398	1,225	0,083	0,147	0,193	9,103	210,397	180,812	119,822	102,656	144,892
06/01/2011 12:00	2,577	1,270	0,061	0,144	0,147	9,103	210,333	178,933	118,129	106,282	142,472
06/01/2011 18:00	2,571	0,811	0,083	0,117	0,132	10,071	205,835	175,046	120,894	92,501	145,992
07/01/2011 00:00	1,634	0,635	0,054	0,105	0,081	10,071	194,193	167,869	120,044	102,521	139,539
07/01/2011 06:00	0,834	0,338	0,034	0,050	0,066	10,071	184,450	164,798	119,803	99,257	138,121
07/01/2011 12:00	0,392	0,213	0,023	0,049	0,027	10,071	174,191	158,256	119,713	104,183	139,102
07/01/2011 18:00	0,132	0,069	0,008	0,011	0,015	10,071	177,156	159,551	119,754	101,478	135,254
08/01/2011 00:00	0,078	0,038	0,004	0,008	0,005	10,071	179,344	160,528	119,769	103,953	138,833
08/01/2011 06:00	0,050	0,022	0,002	0,003	0,004	10,071	178,687	164,071	119,402	101,813	136,658
08/01/2011 12:00	0,040	0,020	0,002	0,004	0,002	10,071	178,988	161,020	119,555	105,601	138,531
08/01/2011 18:00	0,029	0,013	0,001	0,002	0,003	10,071	180,538	162,966	119,686	100,710	136,836

Data\Hora	H _s (m)					T _p (s)	θ _m (°)				
	D1	D2	D3	D4	D5	D1	D1	D2	D3	D4	D5
09/01/2011 00:00	0,020	0,015	0,002	0,004	0,002	9,103	183,470	151,643	118,004	97,727	136,864
09/01/2011 06:00	0,012	0,011	0,001	0,003	0,003	9,103	162,043	150,832	119,300	100,026	134,988
09/01/2011 12:00	0,023	0,014	0,001	0,003	0,002	9,103	185,859	155,574	117,896	99,072	137,480
09/01/2011 18:00	0,027	0,014	0,001	0,002	0,003	10,071	174,900	160,291	119,533	102,826	134,997
10/01/2011 00:00	0,031	0,017	0,002	0,004	0,002	10,071	173,154	157,949	119,682	104,445	139,212
10/01/2011 06:00	0,034	0,016	0,001	0,002	0,003	10,071	174,221	162,211	119,289	103,634	135,321
10/01/2011 12:00	0,040	0,022	0,002	0,005	0,003	10,071	172,232	157,684	119,632	104,658	139,242
10/01/2011 18:00	0,045	0,024	0,003	0,004	0,006	10,071	175,125	159,296	119,634	102,431	134,775
11/01/2011 00:00	0,107	0,072	0,009	0,019	0,011	10,071	168,977	155,161	119,785	103,041	139,212
11/01/2011 06:00	0,355	0,166	0,013	0,027	0,033	9,103	180,756	161,438	119,438	99,699	137,488
11/01/2011 12:00	1,040	0,508	0,013	0,043	0,051	8,228	212,454	179,105	115,476	105,426	144,213
11/01/2011 18:00	1,082	0,810	0,023	0,084	0,100	7,437	215,824	185,753	119,204	114,512	142,654
12/01/2011 00:00	1,386	1,080	0,031	0,109	0,120	8,228	210,831	180,691	116,124	107,642	146,505
12/01/2011 06:00	1,815	1,348	0,091	0,165	0,223	9,103	208,754	181,443	119,822	101,563	144,655
12/01/2011 12:00	2,572	2,066	0,148	0,267	0,308	10,071	205,999	177,664	120,171	103,760	139,400
12/01/2011 18:00	2,630	1,869	0,181	0,240	0,357	10,071	206,111	178,776	121,151	91,519	145,464
13/01/2011 00:00	2,573	2,003	0,159	0,259	0,358	11,141	204,875	178,126	118,498	101,513	141,593
13/01/2011 06:00	2,323	1,650	0,135	0,217	0,317	11,141	205,317	179,541	120,353	102,274	143,310
13/01/2011 12:00	2,099	1,094	0,093	0,146	0,172	10,071	206,964	176,940	120,702	98,005	143,030
13/01/2011 18:00	1,898	0,748	0,068	0,104	0,115	10,071	207,442	176,335	120,884	96,313	144,500
14/01/2011 00:00	1,768	0,556	0,055	0,081	0,086	10,071	206,827	175,240	121,082	94,487	145,757
14/01/2011 06:00	1,327	0,459	0,043	0,070	0,067	10,071	201,026	171,353	120,594	98,133	142,295
14/01/2011 12:00	0,658	0,299	0,035	0,052	0,066	11,141	202,165	174,639	120,248	100,582	136,603
14/01/2011 18:00	0,444	0,193	0,020	0,031	0,038	11,141	196,634	170,753	117,057	108,601	134,801
15/01/2011 00:00	0,320	0,153	0,019	0,029	0,037	11,141	197,761	172,666	120,595	100,547	135,218
15/01/2011 06:00	0,585	0,256	0,025	0,048	0,035	10,071	185,608	163,005	119,981	102,319	138,983
15/01/2011 12:00	0,966	0,373	0,028	0,051	0,062	9,103	198,520	171,855	119,631	101,030	141,015
15/01/2011 18:00	1,774	0,746	0,032	0,083	0,074	9,103	210,183	177,901	117,585	106,699	141,345
16/01/2011 00:00	1,341	0,559	0,052	0,080	0,105	11,141	200,112	176,347	121,116	100,983	140,150
16/01/2011 06:00	1,228	0,472	0,040	0,065	0,077	11,141	197,707	171,120	115,247	109,256	135,653
16/01/2011 12:00	1,010	0,424	0,040	0,062	0,081	11,141	199,730	175,988	121,081	101,043	139,786
16/01/2011 18:00	0,902	0,358	0,032	0,051	0,059	11,141	194,950	169,117	115,008	111,244	135,361
17/01/2011 00:00	0,519	0,240	0,027	0,043	0,053	11,141	190,969	171,370	121,375	102,139	136,684
17/01/2011 06:00	0,357	0,181	0,017	0,037	0,022	10,071	177,114	159,982	119,495	105,177	138,376
17/01/2011 12:00	0,182	0,085	0,008	0,012	0,018	10,071	174,610	162,158	119,323	103,428	135,390
17/01/2011 18:00	0,129	0,068	0,007	0,014	0,009	10,071	175,485	159,082	119,421	104,675	138,166
18/01/2011 00:00	0,080	0,041	0,003	0,005	0,010	10,071	166,674	160,997	118,916	107,218	133,554
18/01/2011 06:00	0,064	0,041	0,005	0,010	0,006	10,071	168,976	155,940	119,513	103,680	138,962
18/01/2011 12:00	0,038	0,026	0,003	0,004	0,006	10,071	166,807	157,644	119,242	106,272	132,728
18/01/2011 18:00	0,015	0,020	0,003	0,007	0,005	8,228	194,445	147,210	116,284	92,549	132,159
19/01/2011 00:00	0,056	0,049	0,005	0,016	0,013	8,228	166,813	147,151	119,763	90,790	138,911

Data\Hora	H_s (m)					T_p (s)	θ_m (°)				
	D1	D2	D3	D4	D5	D1	D1	D2	D3	D4	D5
19/01/2011 06:00	0,019	0,023	0,003	0,007	0,004	9,103	179,685	148,421	118,136	96,506	136,068
19/01/2011 12:00	0,020	0,011	0,001	0,002	0,002	10,071	176,326	158,780	119,755	101,662	134,867
19/01/2011 18:00	0,003	0,006	0,001	0,002	0,002	8,228	196,339	144,536	116,294	91,664	130,433
20/01/2011 00:00	0,088	0,044	0,006	0,009	0,011	11,141	194,864	171,426	120,775	100,919	134,628
20/01/2011 06:00	0,200	0,083	0,008	0,013	0,016	11,141	199,122	172,559	117,480	106,563	136,369
20/01/2011 12:00	0,157	0,074	0,009	0,014	0,017	11,141	200,826	173,401	119,875	101,087	135,177
20/01/2011 18:00	0,100	0,047	0,005	0,009	0,008	10,071	183,721	160,530	120,186	99,919	138,536

Anexo P – Resultados dos vários modelos aplicados

No Quadro P.1, são mostrados os resultados dos primeiros 14 dias de 2011 da modelação da agitação marítima nos domínios de cada modelo numérico.

Quadro P.1 – Resultados dos vários modelos numéricos de caracterização da agitação marítima.

Data/ Hora	Caraterização da Agitação Marítima											
	Modelo WWIII			Modelo SWAN – P2			Modelo DREAMS					
							D1			D3		
	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m
(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	
01/01/2011 00:00	3,56	12,50	270,00	2,68	12,33	259,73	1,99	12,33	204,83	0,11	12,33	122,43
01/01/2011 06:00	3,18	11,57	263,00	2,72	11,14	256,58	2,03	11,14	204,39	0,13	11,14	116,55
01/01/2011 12:00	3,06	10,52	255,00	2,85	10,07	252,26	1,73	10,07	205,22	0,12	10,07	119,79
01/01/2011 18:00	2,93	9,31	241,00	2,77	9,10	240,15	1,88	9,10	204,57	0,09	9,10	117,71
02/01/2011 00:00	2,48	9,20	247,00	2,39	9,10	246,16	1,34	9,10	206,46	0,09	9,10	119,83
02/01/2011 06:00	2,31	9,24	252,00	2,22	9,10	250,79	1,39	9,10	207,27	0,06	9,10	117,63
02/01/2011 12:00	2,60	9,06	251,00	2,49	9,10	250,04	1,42	9,10	207,55	0,08	9,10	119,82
02/01/2011 18:00	2,56	8,81	249,00	2,44	9,10	248,25	1,50	9,10	206,80	0,07	9,10	117,62
03/01/2011 00:00	2,47	8,72	252,00	2,35	9,10	251,18	1,34	9,10	207,79	0,08	9,10	119,82
03/01/2011 06:00	2,24	8,61	255,00	2,14	8,23	253,94	1,24	8,23	209,82	0,03	8,23	115,31
03/01/2011 12:00	2,01	8,42	255,00	1,94	8,23	254,10	1,08	8,23	211,12	0,04	8,23	119,25
03/01/2011 18:00	1,91	8,08	250,00	1,86	8,23	249,57	1,07	8,23	208,92	0,03	8,23	115,57
04/01/2011 00:00	1,91	7,65	233,00	1,83	7,44	232,84	1,04	7,44	208,54	0,03	7,44	119,60
04/01/2011 06:00	2,50	7,01	211,00	2,13	6,72	210,68	1,61	6,72	201,17	0,04	6,72	118,97
04/01/2011 12:00	3,14	8,04	238,00	2,71	8,23	237,69	1,71	8,23	206,61	0,06	8,23	118,52
04/01/2011 18:00	2,99	8,22	243,00	2,65	8,23	242,66	1,60	8,23	207,59	0,05	8,23	116,65
05/01/2011 00:00	3,52	9,13	250,00	3,15	9,10	249,01	1,90	9,10	207,73	0,12	9,10	119,84
05/01/2011 06:00	4,07	9,83	255,00	3,59	10,07	252,88	2,39	10,07	205,84	0,17	10,07	120,98
05/01/2011 12:00	4,69	9,65	257,00	3,95	10,07	254,70	2,68	10,07	206,04	0,17	10,07	120,75
05/01/2011 18:00	4,28	9,19	258,00	3,59	9,10	256,03	2,29	9,10	208,89	0,10	9,10	119,50
06/01/2011 00:00	4,49	8,82	262,00	3,58	9,10	259,67	2,33	9,10	209,42	0,09	9,10	119,14
06/01/2011 06:00	4,86	8,96	267,00	3,68	9,10	263,73	2,40	9,10	210,40	0,08	9,10	119,82
06/01/2011 12:00	5,26	9,37	271,00	3,79	9,10	266,43	2,58	9,10	210,33	0,06	9,10	118,13
06/01/2011 18:00	5,49	9,77	278,00	3,60	10,07	271,39	2,57	10,07	205,84	0,08	10,07	120,89
07/01/2011 00:00	5,36	9,98	286,00	3,00	10,07	276,79	1,63	10,07	194,19	0,05	10,07	120,04
07/01/2011 06:00	4,87	10,37	295,00	2,23	10,07	281,60	0,83	10,07	184,45	0,03	10,07	119,80
07/01/2011 12:00	5,09	10,22	307,00	1,39	10,07	284,64	0,39	10,07	174,19	0,02	10,07	119,71
07/01/2011 18:00	4,84	10,03	320,00	0,58	10,07	285,98	0,13	10,07	177,16	0,01	10,07	119,75
08/01/2011 00:00	4,80	10,07	334,00	0,23	10,07	282,83	0,08	10,07	179,34	0,00	10,07	119,77

Data/ Hora	Caraterização da Agitação Marítima											
	Modelo WWIII			Modelo SWAN – P2			Modelo DREAMS					
							D1			D3		
	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m	H _s	T _p	θ _m
(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	(m)	(s)	(°)	
08/01/2011 06:00	4,11	9,94	339,00	0,15	10,07	282,86	0,05	10,07	178,69	0,00	10,07	119,40
08/01/2011 12:00	3,83	9,80	344,00	0,11	10,07	282,31	0,04	10,07	178,99	0,00	10,07	119,55
08/01/2011 18:00	3,31	9,67	345,00	0,09	10,07	283,29	0,03	10,07	180,54	0,00	10,07	119,69
09/01/2011 00:00	3,09	9,13	333,00	0,15	9,10	288,35	0,02	9,10	183,47	0,00	9,10	118,00
09/01/2011 06:00	2,93	8,93	331,00	0,16	9,10	290,15	0,01	9,10	162,04	0,00	9,10	119,30
09/01/2011 12:00	2,79	9,40	337,00	0,11	9,10	286,01	0,02	9,10	185,86	0,00	9,10	117,90
09/01/2011 18:00	2,66	9,58	336,00	0,11	10,07	285,74	0,03	10,07	174,90	0,00	10,07	119,53
10/01/2011 00:00	2,48	9,74	335,00	0,11	10,07	284,84	0,03	10,07	173,15	0,00	10,07	119,68
10/01/2011 06:00	2,49	9,92	334,00	0,12	10,07	284,58	0,03	10,07	174,22	0,00	10,07	119,29
10/01/2011 12:00	2,36	9,96	330,00	0,15	10,07	285,05	0,04	10,07	172,23	0,00	10,07	119,63
10/01/2011 18:00	2,37	9,99	325,00	0,21	10,07	286,39	0,05	10,07	175,13	0,00	10,07	119,63
11/01/2011 00:00	2,22	9,76	310,00	0,57	10,07	287,33	0,11	10,07	168,98	0,01	10,07	119,78
11/01/2011 06:00	2,13	9,12	291,00	1,29	9,10	283,12	0,35	9,10	180,76	0,01	9,10	119,44
11/01/2011 12:00	2,19	8,36	275,00	1,80	8,23	271,34	1,04	8,23	212,45	0,01	8,23	115,48
11/01/2011 18:00	2,28	7,61	258,00	2,04	7,44	257,18	1,08	7,44	215,82	0,02	7,44	119,20
12/01/2011 00:00	2,58	8,34	258,00	2,35	8,23	256,78	1,39	8,23	210,83	0,03	8,23	116,12
12/01/2011 06:00	3,29	9,42	257,00	2,97	9,10	255,05	1,81	9,10	208,75	0,09	9,10	119,82
12/01/2011 12:00	4,32	10,46	258,00	3,77	10,07	254,59	2,57	10,07	206,00	0,15	10,07	120,17
12/01/2011 18:00	4,55	10,52	259,00	3,92	10,07	255,29	2,63	10,07	206,11	0,18	10,07	121,15
13/01/2011 00:00	4,14	10,81	261,00	3,60	11,14	256,37	2,57	11,14	204,87	0,16	11,14	118,50
13/01/2011 06:00	3,88	10,81	264,00	3,30	11,14	258,62	2,32	11,14	205,32	0,14	11,14	120,35
13/01/2011 12:00	3,58	10,68	269,00	2,89	10,07	262,76	2,10	10,07	206,96	0,09	10,07	120,70
13/01/2011 18:00	3,33	10,57	274,00	2,53	10,07	267,13	1,90	10,07	207,44	0,07	10,07	120,88
14/01/2011 00:00	3,32	10,43	278,00	2,38	10,07	270,59	1,77	10,07	206,83	0,06	10,07	121,08
14/01/2011 06:00	3,24	10,61	283,00	2,09	10,07	273,96	1,33	10,07	201,03	0,04	10,07	120,59
14/01/2011 12:00	3,11	11,06	294,00	1,53	11,14	279,60	0,66	11,14	202,17	0,03	11,14	120,25
14/01/2011 18:00	3,13	11,56	305,00	0,99	11,14	280,07	0,44	11,14	196,63	0,02	11,14	117,06

Anexo Q – Danos provocados no molhe do cais comercial

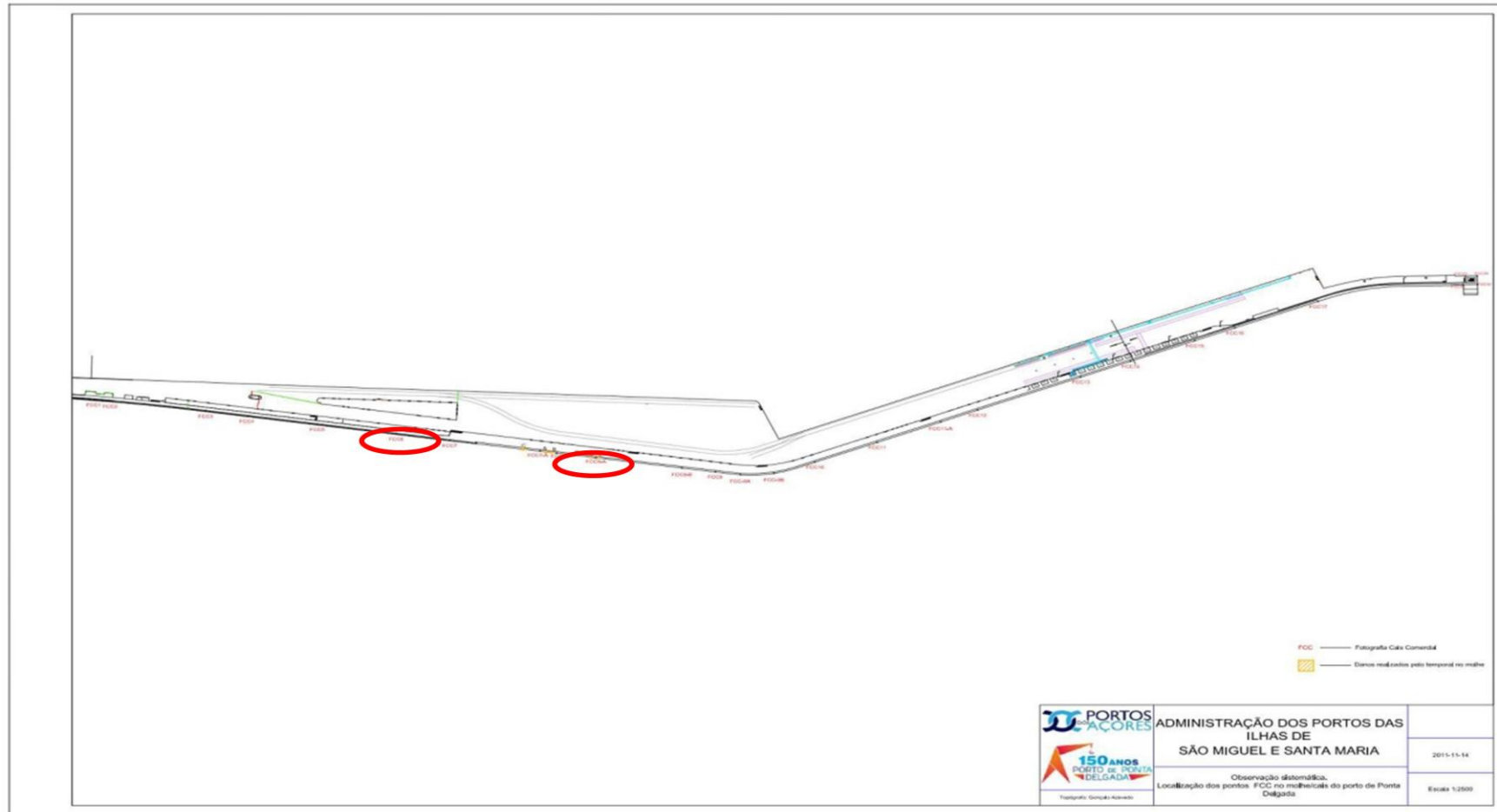


Figura Q.1 – Danos provocados pelo temporal de 27-11-2011 no molhe/cais comercial do porto de Ponta Delgada (APSM)

Anexo R

Os galgamentos estimados para o molhe do cais comercial (pontos D1 e D2) pelo NN_ OVERTOPPING para 27 de setembro de 2011 foram verificados na realidade, apresentando-se, assim, algumas fotografias obtidas neste dia.



Figura R.1 – Ilustração de alguns prejuízos do temporal de 27 de setembro de 2011.



Figura R.2 – Ilustração de alguns prejuízos do temporal de 27 de setembro de 2011.

