



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



Avaliação das consequências de galgamento sobre estruturas portuárias. Caso de estudo da Praia da Vitória, Açores

INÊS FERREIRA LOURENÇO
(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de
Especialização em Hidráulica

Orientadores:

Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
Doutora Conceição Juana Espinosa Morais Fortes

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena Teixeira Cardoso Gamboa

Vogais:

Doutora Maria Teresa Leal Gonsalves Veloso dos Reis
Doutor João Carlos Lutas Craveiro Sousa
Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Dezembro 2016



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil

Avaliação das consequências de galgamento sobre estruturas portuárias. Caso de estudo da Praia da Vitória, Açores

INÊS FERREIRA LOURENÇO
(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de
Especialização em Hidráulica

Orientadores:

Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
Doutora Conceição Juana Espinosa Morais Fortes

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena Teixeira Cardoso Gamboa
Vogais:

Doutora Maria Teresa Leal Gonsalves Veloso dos Reis
Doutor João Carlos Lutas Craveiro Sousa
Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Dezembro 2016

AGRADECIMENTOS

Ao terminar o meu trabalho final de mestrado, quero expressar os meus agradecimentos a todos que contribuíram e cooperaram para a conclusão do meu mestrado em Engenharia Civil.

Aos meus orientadores, Professor João Alfredo dos Santos (orientador ISEL) e Doutora Juana Fortes (co-orientadora LNEC), por toda a dedicação, sabedoria, compreensão e pela exigência crescente que me foram impondo à medida que caminhava para a conclusão do trabalho final de mestrado.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em particular à Dra. Teresa Reis, ao Eng^o Pedro Poseiro, ao Dr. Tiago Garcia e ao Dr. João Craveiro pela atenção, disponibilidade, rigor e encorajamento ao longo de todo o meu trabalho.

À administração dos Portos dos Açores, à Universidade dos Açores (Prof. Eduardo de Azevedo e Anabela Simões), à Azorina (Eng^a Conceição Rodrigues) e à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) os dados base do trabalho da dissertação. Agradeço também aos projetos da FCT, Hidralerta e M&M Ships.

A todos os meus familiares e amigos que me acompanharam ao longo do meu percurso académico e que foram contribuindo com alegria e motivação.

Ao Ian agradeço o apoio, incentivo e amizade.

Aos meus pais e ao meu irmão agradeço por estarem sempre presentes e por tornarem tudo muito mais simples. Agradeço-lhes todo o apoio e carinho.

Um agradecimento especial aos meus avós, pelos valores que me transmitiram.

RESUMO

A presente dissertação, inserida na área de especialização de hidráulica de engenharia civil, procura avaliar o risco de galgamento sobre estruturas portuárias.

Devido à ocorrência de galgamentos, há necessidade em garantir a segurança de bens, pessoas, equipamentos, estruturas e atividades junto a elas desenvolvidas e, ainda, em precaver gastos a nível económico.

Nesse sentido, recorre-se neste trabalho a previsões da agitação marítima em águas profundas fornecidas pelo modelo WAM que, acoplado aos modelos SWAN e DREAMS, permite a caracterização do estado de agitação do mar junto à estrutura portuária. Posteriormente, aplica-se a ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 que fornece os caudais médios galgados nas estruturas.

Seguidamente, recorre-se a três metodologias distintas para avaliar as consequências do galgamento: uma metodologia simples, *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Analytic Network Process* (ANP).

As metodologias multicritério AHP e ANP tornam-se mais vantajosas em relação à metodologia simples, na medida em que permitem análises espaciais definindo o risco a que cada área está sujeita. Estas melhorias sustentam uma avaliação do risco mais fiável, o que é fundamental para o apoio à tomada de decisão e numa gestão eficaz das zonas costeiras e portuárias.

Por fim, aplica-se o procedimento descrito ao porto da Praia da Vitória (Açores, Portugal).

Palavras-Chave: risco; agitação marítima; consequências do galgamento; *Analytic Hierarchy Process*; *Analytic Network Process*.

ABSTRACT

This dissertation, developed within the hydraulics branch of civil engineering, aims at contributing to the assessment of the risk associated to the wave overtopping of port structures.

Due to the occurrence of overtopping, there is a requirement to ensure the safety of goods, people, equipment, structures and activities developed in their surroundings and, still, avoid economic spending.

Therefore, the study uses forecast wave conditions in deep water, provided by the WAM model, which coupled to SWAN and DREAMS models, allows to characterize the sea state near the port structure. Subsequently, the NN_OVERTOPPING2 artificial neuronal tool is applied, which provides the mean flow overtopping discharge over the structures.

Finally, three different methodologies to assess the consequences of wave overtopping are used: a simple methodology, the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Analytic Network Process (ANP).

The multi-criteria AHP and ANP methodologies are more advantageous in comparison with the simplistic methodology, since they allow spatial analysis and definition of the risk that each area is subject to. These improvements support a more reliable risk assessment, which is essential in the decision-making process and in a effective management of coastal and port areas.

The procedure in this study is applied in the port of Praia da Vitória (Azores, Portugal).

Keywords: risk; wave conditions; overtopping consequences; Analytic Hierarchy Process; Analytic Network Process.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos	5
1.3. Metodologia	5
1.4. Estrutura da dissertação.....	7
2. CARACTERIZAÇÃO DO FENÓMENO DE GALGAMENTO.....	9
2.1. Introdução.....	9
2.2. Fatores condicionantes.....	10
2.2.1. Agitação marítima	10
2.2.2. Nível de maré	13
2.2.3. Geometria da estrutura	14
2.3. Metodologias de cálculo do galgamento	17
2.4. Galgamentos admissíveis	18
3. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DO RISCO DE GALGAMENTO	23
3.1. Introdução.....	23
3.2. Conceitos base	24
3.3. Metodologias de avaliação do risco.....	26
3.4. Metodologia de avaliação do risco desenvolvida pelo LNEC	27
3.5. Metodologias multi-critério de avaliação das consequências	32
3.5.1. Metodologia <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP).....	32
3.5.2. Metodologia <i>Analytic Network Process</i> (ANP).....	35

4.	CASO DE ESTUDO - PORTO DA PRAIA DA VITÓRIA.....	41
4.1.	Caracterização geral.....	41
4.2.	Caracterização das estruturas marítimas.....	44
4.3.	Aspetos sensíveis do porto.....	52
4.4.	Eventos históricos de tempestades no porto.....	53
5.	AGITAÇÃO E GALGAMENTOS	61
5.1.	Introdução.....	61
5.2.	Dados disponíveis.....	62
5.2.1.	Estimativas da agitação marítima do modelo WAM.....	62
5.2.2.	Campo de ventos.....	64
5.2.3.	Nível de maré.....	65
5.3.	Aplicação do modelo SWAN.....	66
5.3.1.	Introdução.....	66
5.3.2.	Análise de resultados.....	67
5.4.	Aplicação do modelo DREAMS.....	70
5.4.1.	Introdução.....	70
5.4.2.	Análise de resultados.....	73
5.5.	Aplicação da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2.....	76
5.5.1.	Introdução.....	76
5.5.2.	Condições de aplicação.....	80
5.5.3.	Análise de resultados.....	87
5.6.	Avaliação do risco com a metodologia simples.....	95
5.6.1.	Valores admissíveis de galgamento.....	95
5.6.2.	Grau de probabilidade de ocorrência.....	100
5.6.3.	Grau de consequências.....	101
5.6.4.	Grau de risco.....	102

5.6.5.	Mapa de risco obtido pela metodologia simples.....	103
6.	AVALIAÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS.....	105
6.1.	Introdução.....	105
6.2.	Aplicação da metodologia <i>Analytic Hierarchy Process</i>	106
6.2.1.	Mapa de consequências obtido pela metodologia AHP.....	113
6.3.	Aplicação da metodologia <i>Analytic Network Process</i>	115
6.3.1.	Mapa de consequências obtido pela metodologia ANP.....	121
7.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	125
7.1.	Principais resultados.....	125
7.2.	Sugestões para trabalhos futuros.....	129
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
	ANEXOS	139
	ANEXO A – Procedimento de execução do modelo SWAN	141
	ANEXO B – Resultados do modelo SWAN.....	153
	ANEXO C – Procedimento de execução do modelo DREAMS	157
	ANEXO D – Resultados do modelo DREAMS	167
	ANEXO E – Procedimento de execução da ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	193
	ANEXO F – Resultados da ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	199
	ANEXO G – Procedimento de execução da ferramenta ArcGIS	203
	ANEXO H – Resultados da metodologia <i>Analytic Network Process</i> (ANP).....	211

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Metodologia para a avaliação do risco de galgamento no porto da Praia da Vitória, Açores.	7
Figura 2.1 – Tipos de galgamentos existentes sobre estruturas: a) lâmina de água; b) salpicos; c) borrifos [1].....	9
Figura 2.2 – Ocorrência do fenómeno de galgamento no porto da Praia da Vitória, em fevereiro de 2005 [2].	10
Figura 2.3 – Tipos de rebentação conforme o Número de Iribarren (Rocha, 2012)	12
Figura 2.4 – Representação esquemática do ângulo de incidência das ondas (Mariz, 2012).	13
Figura 2.5 – Constituição do perfil corrente de um quebra-mar de talude (Pita, 1986).	15
Figura 2.6 – Representação dos parâmetros que definem a geometria da estrutura (Coeveld et al., 2005).	15
Figura 3.1 – Processo da gestão do risco (adaptado de NP ISO 31000:2013).	26
Figura 3.2 – Estrutura do modelo AHP (Görener, 2012)	33
Figura 3.3 – Estrutura do modelo ANP (Görener, 2012)	36
Figura 4.1 – Localização geográfica do porto da Praia da Vitória [6] [7].....	42
Figura 4.2 – Estruturas do porto e da baía da Praia da Vitória (Poseiro et al., 2013b).	43
Figura 4.3 – Edifícios existentes no interior do porto da Praia da Vitória [8].....	43
Figura 4.4 – Praias existentes na baía da Praia da Vitória e identificação dos 5 esporões [10].	44
Figura 4.5 – Perfil D.O.550 do quebra-mar sul.	46
Figura 4.6 – Perfil D.O.1000 do quebra-mar sul.	46
Figura 4.7 – Perfil D.O.1200 do quebra-mar sul.	46
Figura 4.8 – Perfil-tipo do quebra-mar norte (cotas referidas ao MLW).	47
Figura 4.9 – Quebra-mares norte e sul do porto da Praia da Vitória [12].	47
Figura 4.10 – Porto comercial da Praia da Vitória (Neves et al., 2012).....	48
Figura 4.11 – Terminal cimenteiro da Praia da Vitória [13].	48

Figura 4.12 – Navios de carga açorianos Ponta da Barca e Espírito Santo, da empresa Transportes Marítimos Graciosenses atracados no porto da Praia da Vitória [14].	49
Figura 4.13 – Porto de pesca da Praia da Vitória [15].	49
Figura 4.14 – Marina da Praia da Vitória [16].	50
Figura 4.15 – Cais acostável da BA 4 da Praia da Vitória [12].	50
Figura 4.16 – Campo de esporões da Praia da Vitória (Neves et al., 2012).	51
Figura 4.17 – Perfil tipo da defesa frontal.	51
Figura 4.18 – Perfil tipo do esporão 3.	51
Figura 4.19 – Bar situado no enraizamento do esporão 3 [17].	52
Figura 4.20 – Direção da agitação marítima mais desfavorável à segurança do porto da Praia da Vitória.	52
Figura 4.21 – Destruição do quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória, em dezembro de 2001 (Silva, 2011).	53
Figura 4.22 – Temporal sobre o quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória, em fevereiro de 2005 (Silva, 2011).	54
Figura 4.23 – Destruição e reconstrução do quebra-mar norte do porto da Praia da Vitória, em fevereiro de 2005 (Silva, 2011).	55
Figura 4.24 – Diferença entre antes e após da reconstrução do quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória [19].	55
Figura 4.25 – Temporal sobre o quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória, em janeiro de 2007.	56
Figura 4.26 – Galgamentos no quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória, em dezembro de 2009 [21].	56
Figura 4.27 – Galgamentos sobre o quebra-mar sul e defesa frontal da Praia da Vitória, em janeiro de 2010 [22].	57
Figura 4.28 – Temporal sobre ambos os quebra-mares do porto da Praia da Vitória, em dezembro de 2010 [23] [24].	57
Figura 4.29 – Forte tempestade sobre o quebra-mar sul, em março de 2013 [26].	58
Figura 4.30 – Galgamentos no quebra-mar sul e na defesa frontal do porto da Praia da Vitória, em outubro de 2015 [27].	58

Figura 4.31 – Galgamentos na defesa frontal da baía da Praia da Vitória, em dezembro de 2015.	58
Figura 4.32 – Furacão Alex na Praia da Vitória, em janeiro de 2016 [28] [29] (Garcia et al., 2016).	59
Figura 5.1 – Processo adotado na propagação da agitação marítima, desde o largo até à costa, para <i>input</i> na ferramenta NN_OVERTOPPING2.	61
Figura 5.2 – Altura significativa (Hs) calculada pelo WAM, para o período de 1979 a 2013.	63
Figura 5.3 – Período de pico (Tp) calculado pelo WAM, para o período de 1979 a 2013. .	64
Figura 5.4 – Direção de onda (Θ) calculada pelo WAM, para o período de 1979 a 2013. ..	64
Figura 5.5 – Variação da maré nos 34 anos considerados (de 1979 a 2013).	65
Figura 5.6 – Variação da maré no último ano de análise, 2013.	66
Figura 5.7 – Malhas computacionais do SWAN e indicação dos seus pontos de cálculo....	68
Figura 5.8 – Comparação dos valores de Hs fornecidos ao largo pelo modelo WAM e obtidos pelo modelo SWAN.	69
Figura 5.9 – Comparação dos valores de Tp fornecidos ao largo pelo modelo WAM e obtidos pelo modelo SWAN.	69
Figura 5.10 – Rosa das direções com a representação da intensidade no ponto P1 do modelo SWAN.	69
Figura 5.11 – Batimetria do modelo DREAMS (Poseiro, 2013c).	71
Figura 5.12 – Identificação dos dez pontos (D1 – D10) analisados no modelo DREAMS.	72
Figura 5.13 – Comparação dos valores de Hs fornecidos pelo modelo DREAMS, nos pontos em frente à defesa frontal.	74
Figura 5.14 – Comparação dos valores de Hs fornecidos pelo modelo DREAMS nos pontos junto aos quebra-mares norte e sul.	74
Figura 5.15 – Período médio (Tm) calculado pelo modelo DREAMS para os dez pontos de análise.	74
Figura 5.16 – Rosa das direções com a representação da intensidade nos pontos D1 a D10 do modelo DREAMS.	75

Figura 5.17 – Esquema de uma rede neuronal artificial estruturada em três camadas, NN_OVERTOPPING2 (Pullen et al., 2007).....	77
Figura 5.18 – Representação dos parâmetros que definem a geometria da estrutura (Coeveld et al., 2005).....	77
Figura 5.19 – Exemplo de obtenção de β	78
Figura 5.20 – Partes constituintes de uma estrutura costeira (adaptado de Coeveld et al., 2005)	80
Figura 5.21 – Fotografias com a localização dos pontos estudados no modelo DREAMS e na ferramenta NN_OVERTOPPING2.	81
Figura 5.22 – Estrutura composta por taludes com diferentes inclinações (Coeveld et al., 2005).....	82
Figura 5.23 – Vista de diferentes secções do quebra-mar sul (Silva, 2011).....	83
Figura 5.24 – Vista do quebra-mar norte do porto da Praia da Vitória [31].	84
Figura 5.25 – Estrutura composta por mais de uma berma (Coeveld et al., 2005).	84
Figura 5.26 – Série temporal dos valores de $gHm0Tm-1,0$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D1, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	87
Figura 5.27 – Série temporal dos valores de $gHm0Tm-1,0$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D2, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	88
Figura 5.28 – Série temporal dos valores de $gHm0Tm-1,0$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D3, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	88
Figura 5.29 – Série temporal dos valores de $gHm0Tm-1,0$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D4, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	88
Figura 5.30 – Série temporal dos valores de $gHm0Tm-1,0$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D5, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	89
Figura 5.31 – Série temporal dos valores de $gHm0Tm-1,0$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D6, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	89
Figura 5.32 – Série temporal dos valores de $gHm0Tm-1,0$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D7, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	89
Figura 5.33 – Série temporal dos valores de $gHm0Tm-1,0$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D8, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	90

Figura 5.34 – Série temporal dos valores de $gHm0Tm-1,0$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D9, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	90
Figura 5.35 – Série temporal dos valores de $gHm0Tm-1,0$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D10, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.....	90
Figura 5.36 – Comparação de caudais médios galgados nos pontos D9 e D10 com as respetivas direções da agitação.....	93
Figura 5.37 – Série temporal do galgamento q para o ponto D1 e os valores admissíveis adotados.....	97
Figura 5.38 – Série temporal do galgamento q para os pontos D2, D4, D5, D6 e D7 e os valores admissíveis adotados.....	98
Figura 5.39 – Série temporal do galgamento q para o ponto D3 e os valores admissíveis adotados.....	98
Figura 5.40 – Série temporal do galgamento q para o ponto D8 e os valores admissíveis adotados.....	98
Figura 5.41 – Série temporal do galgamento q para o ponto D9 e os valores admissíveis adotados.....	98
Figura 5.42 – Série temporal do galgamento q para o ponto D10 e os valores admissíveis adotados.....	99
Figura 5.43 – Representação gráfica do grau de risco de galgamento determinado pela metodologia simples (adaptado de Google Earth).....	103
Figura 6.1 – Critérios de estudo.....	106
Figura 6.2 – Organização hierárquica do problema de acordo com a metodologia AHP. .	107
Figura 6.3 – Resultados dos pesos de cada um dos critérios após a aplicação da metodologia AHP.	111
Figura 6.4 – Resultados dos pesos de cada um dos subcritérios após a aplicação da metodologia AHP.	112
Figura 6.5 – Apresentação dos subcritérios de Densidade populacional, inseridos no domínio de estudo.....	113
Figura 6.6 – Apresentação dos subcritérios de Uso do solo, inseridos no domínio de estudo.	113

Figura 6.7 – Apresentação dos subcritérios de Caudal médio galgado, inseridos no domínio de estudo.	114
Figura 6.8 – Apresentação dos subcritérios de Altimetria, inseridos no domínio de estudo.	114
Figura 6.9 – Apresentação dos subcritérios de Rede viária, inseridos no domínio de estudo.	114
Figura 6.10 – Mapa de consequências obtido pela aplicação da metodologia AHP.	115
Figura 6.11 – Esquema representativo das dependências e independências de cada um dos subcritérios.	116
Figura 6.12 – Resultados dos pesos de cada um dos critérios após a aplicação da metodologia ANP.	120
Figura 6.13 – Resultados dos pesos de cada um dos subcritérios após a aplicação da metodologia ANP.	120
Figura 6.14 – Mapa de consequências obtido pela aplicação da metodologia ANP.	122

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Valores admissíveis do caudal médio galgado admissível para as estruturas marítimas (adaptado de Pullen et al., 2007).	19
Quadro 2.2 – Valores admissíveis do caudal médio galgado admissível para pessoas (adaptado de Pullen et al., 2007).	19
Quadro 2.3 – Valores admissíveis do caudal médio galgado para circulação de veículos (adaptado de Pullen et al., 2007).	20
Quadro 2.4 – Valores admissíveis do caudal médio galgado para navios e equipamentos na zona abrigada da estrutura (adaptado de Pullen et al., 2007).	20
Quadro 3.1 – Grau de probabilidade associado à ocorrência de acontecimento perigoso (Fortes et al., 2014a,b,c).	30
Quadro 3.2 - Grau de consequências associado à ocorrência de acontecimento perigoso (Pereira, 2013).	31
Quadro 3.3 – Aceitabilidade do grau de risco (Fortes et al., 2014a,b,c).	31
Quadro 3.4 – Escala fundamental de Saaty (adaptado de Saaty, 1980).	33
Quadro 3.5 – Tabela de índices de consistência aleatória, RI (Poseiro et al., 2013a, b).	35
Quadro 5.1 – Análise estatística referente aos resultados obtidos com o modelo WAM para o porto ao largo.	63
Quadro 5.2 – Pontos utilizados no SWAN.	67
Quadro 5.3 – Análise estatística dos resultados obtidos com o modelo SWAN para o ponto P1.	68
Quadro 5.4 – Pontos utilizados no DREAMS.	72
Quadro 5.5 – Análise estatística dos valores do parâmetro Hs nos dez pontos, obtidos com o modelo DREAMS.	73
Quadro 5.6 – Análise estatística dos valores do parâmetro Tm nos dez pontos, obtidos com o modelo DREAMS.	73
Quadro 5.7 – Valores do coeficiente de rugosidade/permeabilidade, para alguns tipos de materiais constituintes do talude (Coeveld et al., 2005).....	79
Quadro 5.8 – Ângulo da normal à estrutura com o norte, α'	85

Quadro 5.9 – Parâmetros de <i>input</i> da ferramenta NN_OVERTOPPING2 para os casos analisados.	86
Quadro 5.10 – Análise estatística referente aos resultados do parâmetro q sobre os dez pontos, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.	87
Quadro 5.11 – Características das situações em que ocorreu o valor de q máximo em cada ponto.	91
Quadro 5.12 – Eventos de ocorrência de galgamentos acima de 3 l/s/m no ponto D9.	94
Quadro 5.13 – Eventos de ocorrência de galgamentos acima de 3 l/s/m no ponto D10.	94
Quadro 5.14 – Valores críticos de caudal médio galgado.	97
Quadro 5.15 – Probabilidade de ocorrência de galgamentos acima dos valores admissíveis para os dez pontos.	100
Quadro 5.16 – Grau de consequências considerado em cada ponto.	101
Quadro 5.17 – Grau de risco de galgamento em cada um dos pontos.	102
Quadro 6.1 – Identificação dos elementos que compõem o critério Densidade populacional.	107
Quadro 6.2 – Identificação dos elementos que compõem o critério Uso do solo.	107
Quadro 6.3 – Identificação dos elementos que compõem o critério Caudal médio galgado.	107
Quadro 6.4 – Identificação dos elementos que compõem o critério Altimetria.	107
Quadro 6.5 – Identificação dos elementos que compõem o critério Rede viária.	107
Quadro 6.6 – Matriz de comparação entre os 5 critérios.	108
Quadro 6.7 – Matriz de comparação entre os elementos que constituem o critério Densidade populacional.	108
Quadro 6.8 – Matriz de comparação entre os elementos que constituem o critério Uso do solo.	109
Quadro 6.9 – Matriz de comparação entre os elementos que constituem o critério Caudal médio galgado.	110
Quadro 6.10 – Matriz de comparação entre os elementos que constituem o critério Altimetria.	110

Quadro 6.11 – Matriz de comparação entre os elementos que constituem o critério Rede viária. 110

ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANP – *Analytic Network Process*

BA 4 – Base Aérea nr.º 4

CLASH - *Crest Level Assessment of coastal Structures by full scale monitoring, neural network prediction and Hazard analysis on permissible wave overtopping*

DREAMS – *Diffraction-REfraction Analysis Mild Slope Model*

E – Este

ECMWF – *European Centre for Medium Range Weather Forecast*

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*

FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia

HIDRALERTA – Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias

INE – Instituto Nacional de Estatística

JONSWAP – *Joint North Sea Wave Project*

ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MEF – Método de Elementos Finitos

MCDM – *Multi Criteria Decision Making*

MLW – *Mean Low Water*

NE – Nordeste

NM – Nível médio da água do mar

SE – Sudeste

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SSM – *Soft System Methodology*

SW – Sudoeste

SWAN – *Simulating Waves Nearshore*

TOT – Enrocamento de Todo o Tamanho

W – Oeste

WAM – *Wave Analysis Model*

ZH – Zero Hidrográfico

SIMBOLOGIA

Letras Latinas

A	– Matriz algébrica que representa as importâncias relativas entre elementos	[–]
A_c	– Distância entre o nível de repouso e a berma do coroamento da estrutura	[m]
a_{ij}	– Coeficiente pertencente à matriz A	[–]
B	– Largura da berma da estrutura	[m]
B_t	– Largura do pé de talude da estrutura	[m]
C_i e C_j	– Critérios a ser estudados pelas metodologias AHP e ANP	[–]
CI	– Índice de Consistência	[–]
CR	– Taxa de Consistência	[–]
g	– Aceleração da gravidade	[m/s ²]
$gH_{m0} T_{m-1,0}$	– Parâmetro para adimensionalizar o caudal médio de galgamento	[–]
G_c	– Largura da berma de coroamento da estrutura	[m]
h	– Altura da água junto à estrutura	[m]
h_b	– Profundidade da água na berma	[m]
h_t	– Profundidade da água no pé de talude da estrutura	[m]
H	– Altura da onda	[m]
$H_{máx}$	– Altura máxima da onda	[m]
H_{m0}	– Altura de onda significativa espectral	[m]
$H_{m0,toe}$	– Altura significativa em frente à estrutura, calculada por análise espectral com o momento espectral m_0	[m]
H_s	– Altura significativa da onda	[m]
$H_{smáx}$	– Altura significativa máxima das ondas	[m]
H_0	– Altura de onda à entrada do domínio de cálculo	[m]

k – Número positivo e inteiro utilizado no método ANP	[–]
L – Comprimento da onda	[m]
M – Super-matriz	[–]
M_{ij} – Coeficientes pertencentes à Super-matriz	[–]
M^k – Super-matriz limite	[–]
M_{21} – Vetor que representa o impacto dos critérios sobre o objetivo	[–]
M_{32} – Matriz que representa os impactos dos subcritérios em cada um dos critérios	[–]
M_{33} – Matriz que representa as dependências externas entre um subcritério e todos os outros	[–]
m_{C_i} – Coeficientes pertencentes à matriz M_{21}	[–]
m_{sc_k, C_i} – Coeficientes pertencentes à matriz M_{32}	[–]
$m_{sc_k, C_i sc_u, C_j}$ – Coeficientes pertencentes ao vetor M_{33}	[–]
n – Número de elementos existentes na matriz A	[–]
q – Caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura	[l/s/m]
$q_{máx}$ – Caudal médio galgado máximo	[l/s/m]
q_x – Caudal médio galgado calculado num ponto a x metros da estrutura	[l/s/m]
$q_{n\%}$ – Quantil, onde n representa a percentagem do quantil	[l/s/m]
R_c – Distância entre o nível de repouso e o coroamento da estrutura	[m]
RI – Índice de Consistência Aleatória	[–]
s – Declividade da onda	[–]
sc_i – Subcritério a ser estudado pelas metodologias AHP e ANP	[–]
sc_{n_i} – Coeficiente pertencente ao subcritério	[–]
s_0 – Declividade da onda ao largo	[–]

T – Período da onda	[s]
T_m – Período médio da onda	[s]
$T_{m-1,0}$ – Período médio de onda espectral definido por m_0/m_1	[s]
$T_{m-1,0\ toe}$ – Período médio em frente à estrutura, calculado com os momentos espectrais m_{-1} e m_0	[s]
T_p – Período de pico da onda	[s]
U – Matriz binária	[–]
W – Vetor próprio de uma matriz de comparação	[–]
w_i e w_j – Pesos de influência do critério C_i ou C_j	[–]
x – Distância entre a estrutura galgada e o ponto de interesse	[m]

Letras Gregas

α – Inclinação do talude do quebra-mar	[°]
α_b – Ângulo da berma da estrutura	[°]
α_d – Ângulo na área central da estrutura sob a berma	[°]
α_u – Ângulo na área central da estrutura sobre a berma	[°]
α' – Ângulo da normal à estrutura em relação ao norte	[°]
β – Ângulo de incidência da onda relativamente à perpendicular à estrutura	[°]
γ_f – Parâmetro que indica a rugosidade e a permeabilidade da estrutura	[–]
ζ – Número de Iribarren	[–]
ζ_0 – Número de Iribarren, determinado com condições ao largo	[–]
θ – Ângulo de incidência das ondas em relação ao norte	[°]
θ_p – Direção de pico da onda	[°]
θ_m – Direção média da onda	[°]
λ – Valor próprio da matriz A	[–]

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A ocorrência de galgamentos em estruturas portuárias e a conseqüente inundação da zona por estas protegida envolvem danos que podem afetar a economia, quer a nível local, quer a nível regional. Daí podem resultar prejuízos como a inoperacionalidade do porto, danos nas estruturas/equipamentos protegidos pelas estruturas portuárias, danos nos navios atracados aos terminais, e ainda, ferimentos em pessoas ou mesmo perda de vidas. Verifica-se assim a necessidade de explorar e desenvolver metodologias que permitam a avaliação das conseqüências de galgamentos em obras portuárias e que contribuem para:

- Planear adequadamente as intervenções nessas zonas;
- Servir de apoio às entidades competentes para a identificação de situações perigosas;
- Sensibilizar a população relativamente a este fenómeno;
- Possibilitar a emissão de alertas em situações de perigo.

Por esta razão, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) tem vindo a abordar esta problemática, desenvolvendo e aplicando diferentes metodologias para a avaliação do risco.

Reis et al. (2011) é uma das primeiras referências onde se descreve uma metodologia simples implementada no LNEC para avaliar o risco, associado à ocorrência de galgamentos de estruturas portuárias e costeiras. Nesta metodologia, identificam-se os valores limites admissíveis do caudal médio galgado por metro linear da estrutura, de acordo com as tabelas de Pullen et al. (2007). Posteriormente, atribui-se à probabilidade de ocorrência uma escala de graus de probabilidade e às conseqüências uma escala de graus de conseqüências (de acordo com um quadro bastante genérico e que não quantifica as conseqüências que são avaliadas de forma qualitativa). Por fim, calcula-se o grau de risco, pelo produto do grau de probabilidade de ocorrência de um acontecimento perigoso pelo grau das respetivas conseqüências. Note-se que esta metodologia também dá ênfase ao alerta das entidades responsáveis nesses casos. A aplicação foi efetuada no porto da Praia da Vitória.

Santos et al. (2011) aplicou metodologias para a avaliação do risco associado à navegação no interior dos portos e à ocorrência de galgamentos de estruturas portuárias. A determinação da agitação marítima foi efetuada recorrendo a uma metodologia de acoplamento de modelos

numéricos de propagação de ondas, com base em dados de agitação marítima provenientes de bóias ou de modelos regionais de previsão da agitação para um período de dois anos, de 2009 a 2011. Para a navegação, avaliou-se o risco de exceder um valor crítico de movimento vertical do navio e de caudal médio galgado; e aplicaram-se ferramentas para avaliar os movimentos verticais e os caudais médios galgados.

Neves et al. (2012) desenvolveu uma metodologia de avaliação do risco associado ao galgamento no porto e baía da Praia da Vitória baseado nesta metodologia simples. Deste modo, o grau de risco foi determinado para três estruturas do porto em estudo: quebra-mar sul, defesa frontal e esporão.

Rocha (2012) e Rocha et al. (2012 e 2013) aplicaram a mesma metodologia e tiveram como objetivo avaliar o risco de galgamento das estruturas de proteção no porto e baía da Praia da Vitória, diferenciando-se de publicações anteriores pela introdução da variação do nível de maré na caracterização da agitação marítima da zona em estudo. Aplicaram o método em três pontos distintos, de forma a incorporar diferentes tipos de estrutura: quebra-mar sul, defesa frontal e esporão.

Embora as aplicações anteriores sejam úteis e interessantes, a metodologia simples do LNEC é de caráter simplista e avalia apenas global e qualitativamente as consequências de ocorrência de galgamentos/inundações excessivos numa dada zona de estudo. O método pode ser estendido a outras situações de risco devido à sua simplicidade e eficiência. Porém, a metodologia em causa depende da quantidade e da qualidade dos dados de agitação marítima existentes, e consiste na atribuição de um único valor para o grau de risco, sem que seja possível atribuir pesos aos indicadores que afetam a zona de estudo, e sem permitir a visualização espacial do local.

Assim, no sentido de tentar quantificar melhor as consequências de um acontecimento, há a necessidade de recorrer a métodos que permitam caracterizar corretamente os prejuízos associados a esse acontecimento.

Mais ainda, é importante que se utilizem informações quantitativas e que, ao invés de utilizar indicadores que resultam apenas numa avaliação qualitativa do grau de risco em cada ponto, a nova metodologia de avaliação das consequências possibilite uma distribuição espacial dos

mesmos, permitindo obter um mapa de grau de consequências que tem em conta todos os indicadores em simultâneo.

A metodologia AHP foi desenvolvida por Saaty (1980) e permite organizar hierarquicamente um problema em todas as variáveis que o constituem, realizando-se posteriormente comparações par a par entre as mesmas, resultando pesos que permitem classificar os indicadores em estudo.

Antunes (2012) optou pela metodologia AHP, por esta ser quantitativa e detalhada, com o objetivo de analisar a artificialização e a pressão antrópica do litoral continental. Desenvolveu um método para construir um índice espacial de pressão antrópica no litoral, permitindo o estudo de conflitos ambientais provocados pela erosão costeira em Espinho, Caparica e Faro. Poseiro et al. (2013b) realizou a caracterização da agitação marítima e o cálculo dos caudais médios galgados em sete secções de estruturas marítimas (enraizamento do esporão 3, defesa frontal e quebra-mar sul), para o período de análise de 2005 a 2012. Posteriormente, aplicou o método desenvolvido por Antunes (2012), com o objetivo de contribuir para a análise das consequências da ocorrência de galgamentos/inundações. O método tem por base a metodologia AHP, desenvolvida por Saaty (1980), que permite decompor um problema em todas as variáveis que o constituem, num esquema de critérios e subcritérios, realizando-se posteriormente comparações par a par entre as mesmas, resultando pesos que permitem classificar os indicadores espaciais que caracterizam uma dada zona de estudo. Poseiro et al. (2013b) não relacionou os resultados dos galgamentos obtidos com o mapa de consequências obtido pela metodologia AHP). Definiu como critérios para obtenção do mapa de consequências Cotas de inundação, Uso do solo, Edifícios, População e Vias de comunicação, aos quais foram aplicados a metodologia AHP para definir o peso de cada um deles. No entanto, só se definiu o peso dos respetivos subcritérios aquando a realização do mapa das consequências (através do *software* ArcGIS), onde foi definida uma escala de 1 a 9, em que 1 representava o subcritério com menor relevância e 9 o subcritério com maior relevância.

Rodrigues (2014) aplicou o método descrito anteriormente com o objetivo de avaliar as consequências da ocorrência de galgamentos no porto de Ponta Delgada (São Miguel, Açores). Neste trabalho, considerou-se sete indicadores que permitem caracterizar espacialmente o local de estudo: Património arquitetónico, Locais especiais, Edificado,

Altimetria, Rede viária, Uso do solo e População. No entanto, Rodrigues (2014) também não relacionou os resultados dos galgamentos obtidos através da ferramenta NN_OVERTOPPING2 com o mapa de consequências obtido pela metodologia AHP.

Em todos os estudos que foi aplicada a metodologia AHP não se conseguiram contabilizar todos os elementos que constituem o problema: por não existir uma relação entre os mesmos e por não se ter tido em consideração os caudais médios galgados obtidos pela ferramenta neuronal. Com efeito, a metodologia aplicada não é suficientemente realista.

Mais recentemente, Saaty (1996) desenvolveu a metodologia ANP, que é uma extensão da metodologia anterior, com a vantagem de se poder acrescentar relações de dependência e *feedback* entre os elementos que constituem o problema, sem a necessidade de especificar níveis como num sistema hierárquico. Esta metodologia foi aplicada na área da economia, política, indústria, entre outros. Até ao momento, não se registaram estudos que implementassem esta metodologia para avaliar as consequências de galgamentos.

Do exposto, verifica-se o interesse de aplicar estas diferentes metodologias (metodologia simples, AHP e ANP), ao porto da Praia da Vitória, onde já existem vários trabalhos e informação recolhida relevante.

Com efeito, o porto da Praia da Vitória constitui a maior estrutura portuária dos Açores e a segunda maior no que se refere ao movimento de navios e de mercadorias. O porto movimenta navios de carga e de passageiros e ainda constitui uma plataforma de distribuição de mercadorias para as ilhas do grupo central. Além disso, o porto oferece três terminais concessionados a operações específicas, designadamente um terminal cimenteiro, um terminal de trasfega e um terminal dedicado ao tráfego local de mercadorias não contentorizadas. No interior da bacia portuária situa-se um núcleo de pesca, passadiços e espaços de estacionamento, rampa varadouro para embarcações artesanais, estruturas para reparação naval, praias e uma defesa frontal aderente.

Atendendo à sua localização em relação à ilha onde se insere e em relação ao regime da agitação marítima a que está sujeito, o porto da Praia da Vitória apresenta condições particulares de abrigo, as quais se refletem no baixo número de dias de inoperacionalidade.

No entanto, aquando da ocorrência de condições adversas da agitação marítima, são frequentes os fenómenos de galgamento nas estruturas portuárias, obrigando algumas vezes à interrupção de atividades no porto.

Recordando os eventos de tempestades que ocorreram em 2001, 2005, 2010 e 2013, a avaliação do risco de galgamento no porto é fundamental para o bom desempenho do mesmo. Face às características acima referidas e à informação disponível, o porto da Praia da Vitória surge como o local natural para teste destas metodologias de avaliação das consequências associadas a galgamentos.

1.2. Objetivos

A dissertação tem como objetivos:

- Contribuir para a avaliação do risco de galgamentos sobre estruturas portuárias localizadas no porto e baía da Praia da Vitória (ilha Terceira, Açores), aplicando-se a metodologia desenvolvida pelo LNEC, inserida no sistema HIDRALERTA (Fortes et al., 2014a);
- Avaliar as consequências da ocorrência de galgamentos nessas estruturas, aplicando-se três metodologias:
 - Metodologia simples do LNEC (Rocha, 2012);
 - *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 1980);
 - *Analytic Network Process* (ANP) (Saaty, 1996).
- Obter os mapas de consequências para cada uma das metodologias indicadas.

Face a trabalhos anteriores, o presente trabalho utiliza:

- Um período de análise bastante mais extenso, considerando 34 anos para a caracterização da agitação marítima no porto e baía da Praia da Vitória;
- Um conjunto de secções das obras de proteção do porto e baía mais vasto (10 secções-tipo) para se analisar o galgamento.

1.3. Metodologia

A Figura 1.1 apresenta um esquema da metodologia aplicada no presente trabalho, para avaliação do risco de galgamento no porto e baía da Praia da Vitória, detalhando-se em seguida os objetivos para cada uma das três etapas nela identificadas.

Caracterização da agitação marítima:

- Analisar dados fornecidos pelo modelo WAM (Hasselmann et al., 1988), para o período de 1979 a 2013;
- Aplicar o modelo SWAN (Booij et al., 1999) para modelar a propagação da agitação marítima desde grandes profundidades até à entrada do porto;
- Aplicar o modelo DREAMS (Fortes, 1993, 2002) para modelar a propagação da agitação marítima desde a entrada do porto até ao seu interior;
- Compreender e interpretar os resultados obtidos de cada um dos modelos.

Cálculo do caudal médio galgado:

- Identificar as secções mais relevantes ao longo do porto da Praia da Vitória;
- Definir os parâmetros caracterizadores de cada uma das secções;
- Aplicar a ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 (Coeveld et al., 2005) de modo a obter os caudais médios galgados para cada um dos perfis;
- Compreender e interpretar os resultados obtidos.

Avaliação do risco:

- Reconhecer a natureza das atividades desenvolvidas nas zonas protegidas pelas secções de estudo e as características dessas zonas;
- Identificar os critérios e respetivos subcritérios relevantes para a segurança dessas zonas;
- Estabelecer os caudais médios galgados críticos de cada uma das secções atrás referidas;
- Aplicar a Metodologia Simples do LNEC e as metodologias mais complexas para a avaliação das consequências: *Analytic Hierarchy Process (AHP)* e *Analytic Network Process (ANP)*;
- Elaborar e comparar mapas de consequências.

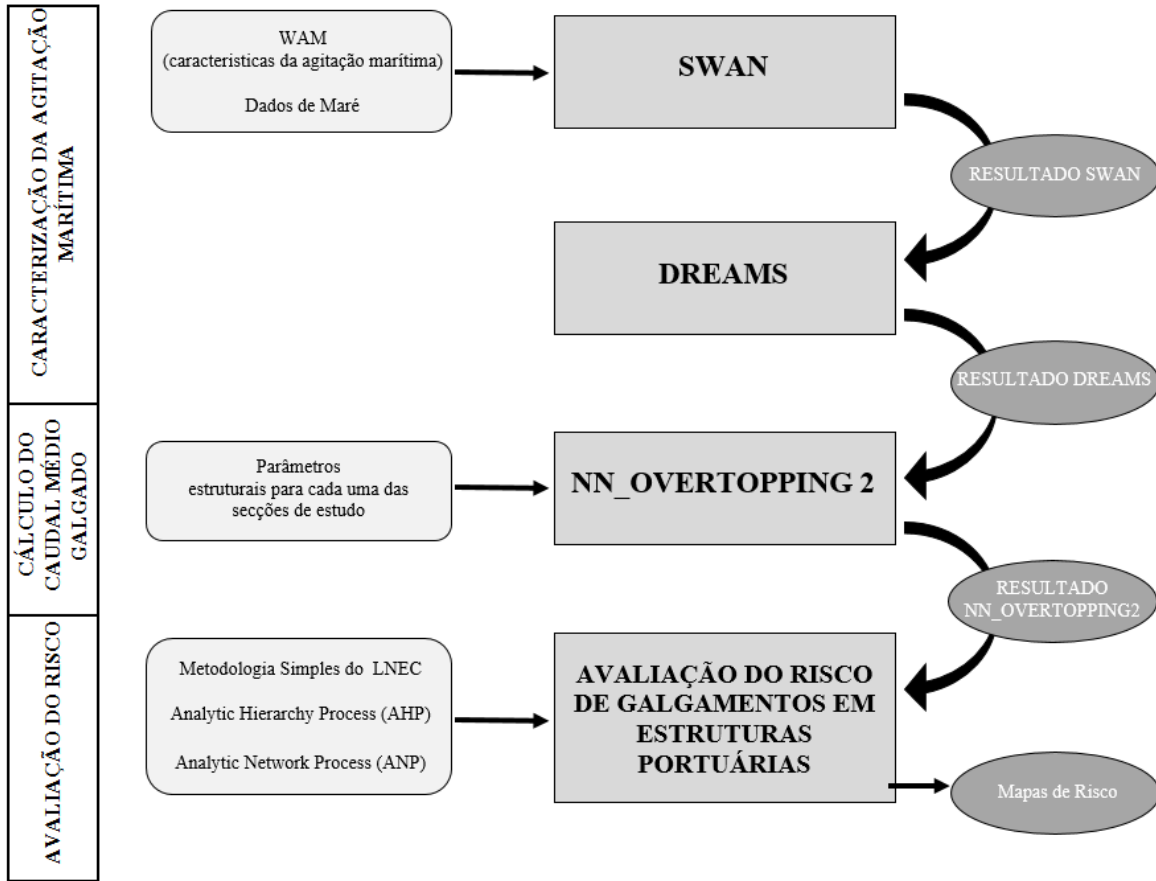


Figura 1.1 – Metodologia para a avaliação do risco de galgamento no porto da Praia da Vitória, Açores.

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos, conjuntamente com referências bibliográficas e oito anexos.

O primeiro capítulo apresenta o enquadramento do tema, a sua importância, os objetivos, a metodologia implementada na dissertação e a respetiva estruturação.

Posteriormente, o segundo e o terceiro capítulos descrevem, respetivamente, os fundamentos teóricos associados ao fenómeno do galgamento e à avaliação do risco de galgamentos sobre estruturas portuárias.

De seguida, o quarto capítulo introduz o caso de estudo, seguido pelo quinto capítulo, que aplica cada um dos modelos e ferramentas que permitem a avaliação do seu estado de agitação e os galgamentos. Ainda no quinto capítulo, é aplicada a metodologia simples do LNEC para avaliar o risco de galgamentos na área em estudo.

O sexto capítulo aplica: o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o *Analytic Network Process* (ANP), de modo a obter mapas de consequências para a zona de estudo.

Por fim, o sétimo capítulo conclui o trabalho, resumindo os principais resultados obtidos e sugerindo melhorias a aplicar em trabalhos futuros.

2. CARACTERIZAÇÃO DO FENÓMENO DE GALGAMENTO

2.1. Introdução

Quando a onda marítima, no decorrer da sua propagação, encontra um obstáculo, pode contorná-lo, galgá-lo, refletir-se ou dissipar-se contra ele, de acordo com as características da própria onda e do obstáculo. Na maioria das vezes o obstáculo é a costa, onde a totalidade da energia da onda pode ser dissipada, sendo por vezes necessário implementar estruturas marítimas em locais mais expostos aos ataques da agitação marítima.

O galgamento é um fenómeno de transmissão de energia, que se encontra inserido num conjunto de processos de interação entre a onda e a estrutura, e que se caracteriza pelo transporte de uma massa de água sobre o coroamento de uma estrutura por efeito da agitação marítima.

Os galgamentos são expressos sobre a forma de volume de água que galga sobre a estrutura (m^3 ou l), ou através do caudal médio por metro linear de estrutura que passa sobre a cota de coroamento da mesma, q ($m^3/s/m$ ou l/s/m).

De acordo com a forma de dissipação da energia das ondas e o modo como estas transpõem a estrutura (Figura 2.1), o fenómeno de galgamento é classificado por:

- Lâmina de água – Forma de galgamento onde há projeção de um grande volume de água;
- Salpicos – Forma de galgamento onde há projeção de um grande volume de salpicos;
- Borrifos – Resulta no transporte de pequenas gotas de água sobre o coroamento da estrutura, devido à ação de vento intenso.

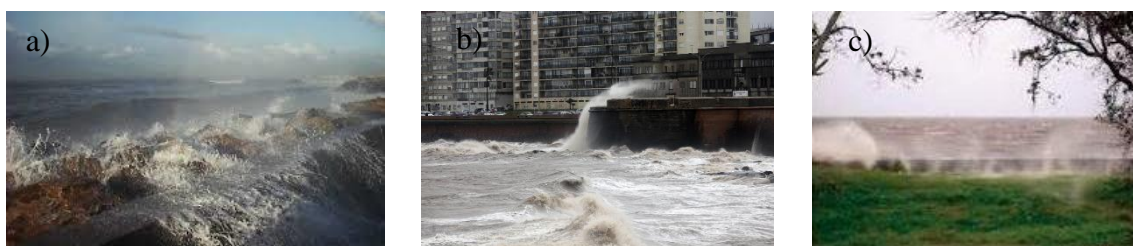


Figura 2.1 – Tipos de galgamentos existentes sobre estruturas: a) lâmina de água; b) salpicos; c) borrifos [1].

São vários os fatores condicionantes do galgamento tais como, a agitação marítima, o nível do mar e a geometria da estrutura.

Quando ocorre a colisão entre a onda incidente e a estrutura, uma parte da energia é dissipada por rebentação, por atrito, por percolação e refletida para o largo, e a restante energia contribui para a elevação da superfície livre dando origem a um escoamento sobre a estrutura. Caso o talude não seja muito extenso ou a sua cota de coroamento muito elevada, não há condições para se dar a transformação total da energia, o que permitirá a passagem do escoamento sobre a estrutura, ocorrendo o galgamento (Figura 2.2).



Figura 2.2 – Ocorrência do fenómeno de galgamento no porto da Praia da Vitória, em fevereiro de 2005 [2].

2.2. Fatores condicionantes

2.2.1. Agitação marítima

É recorrente a costa portuguesa ficar sujeita a tempestades que provocam forte agitação marítima, formadas no Atlântico Norte, e que se desenvolvem no sentido oeste – este, com elevado *fetch* (distância da superfície oceânica que pode ser atuada pelo vento, sem obstáculos). Assim, é fundamental determinar a influência do estado de agitação do mar nos fenómenos de galgamento, pois este é um dos principais condicionantes (o nível de maré é também importante).

A previsão do clima de agitação marítima requer a determinação das principais características das ondas, de forma a permitir a sua caracterização temporal e a sua variabilidade espacial.

Como a ação da agitação marítima é afetada por processos de transformação de energia, é usual a caracterização da agitação marítima através das medições *in situ* (boias ondógrafo)

ou através de modelos numéricos de previsão e propagação de ondas, tanto em zonas costeiras como em zonas portuárias. Descrevem-se de seguida alguns parâmetros utilizados nessa caracterização:

- Altura da onda – distância na vertical entre a crista e a cava da onda:
 - Altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) – altura máxima observada no período em análise;
 - Altura significativa (H_s) – média do terço 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_m) – média dos períodos observados, num determinado tempo;
 - Período de pico (T_p) – período correspondente à frequência com maior densidade espectral.
- 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;
 - Direção de pico (θ_p) – direção associada ao sistema de ondas predominantes.

O período da onda influencia indiretamente a ocorrência de galgamento, sendo contabilizado através da declividade da onda (s). O parâmetro é determinado com base na Equação 2.1 e relaciona a altura da onda (H) com o seu comprimento (L). Por norma, este parâmetro é determinado para a altura de onda junto à estrutura e para o comprimento de onda ao largo.

$$s = \frac{H}{L} \quad [2.1]$$

Dependendo da inclinação do talude do quebra-mar (α) e da declividade da onda, a onda pode rebentar de diversas formas que podem ser caracterizadas através do Número de Iribarren (ζ_0). O parâmetro é determinado através da Equação 2.2 e consideram-se quatro intervalos distintos para o mesmo, como apresentado na Figura 2.3.

$$\zeta_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}} \quad [2.2]$$

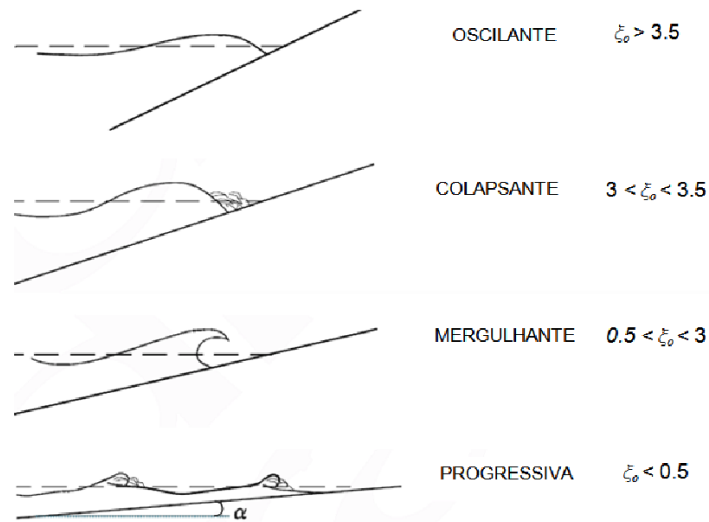


Figura 2.3 – Tipos de rebentação conforme o Número de Iribarren (Rocha, 2012)

Assim, para valores de $\zeta_0 < 0.5$, ocorre a rebentação progressiva ou deslizante, onde a energia se dissipa devido à deformação da crista da onda através da formação de uma esteira de espuma, que desliza na frente da onda num percurso relativamente longo. Normalmente, este tipo de rebentação ocorre quando o declive da praia é suave (inferior a 3°) e/ou a declividade da onda é grande.

Para o intervalo de valores compreendidos entre $0.5 < \zeta_0 < 3$, surge a rebentação mergulhante, criada por ondas instáveis, em que as suas cristas tendem a enrolar-se em espiral e caem, de forma ruidosa sobre as cavas, dissipando instantaneamente grande parte da energia. Este tipo de rebentação ocorre quando o declive da praia é intermédio (entre os 3° e 11°) e/ou a declividade da onda não tem valor muito elevado.

Com valores entre $3 < \zeta_0 < 3.5$, dá-se rebentação colapsante, fenómeno durante o qual a crista da onda não rebenta totalmente, o declive da face da onda aumenta, e a onda colapsa com grande produção de espuma que se estende numa extensão pequena, atingindo o talude. Este tipo de rebentação ocorre quando o declive da praia é grande (entre os 11° e 15°) e/ou a declividade da onda é pequena.

Por fim, para valores de $\zeta_0 > 3.5$, a onda apresenta forte deformação promovendo a existência de grandes oscilações do nível da água, mas não permite a rebentação da sua crista. Trata-se da rebentação oscilante. A maioria das ondas com este tipo de rebentações são refletidas para o oceano, interferindo com as ondas incidentes. Este tipo de rebentação ocorre quando o declive da praia é muito grande (superior a 15°) e/ou a declividade da onda é pequena.

Com efeito, quando existe rebentação e quanto maior for o Número de Iribarren, maior será a probabilidade de ocorrer galgamentos.

Porém, o Número de Iribarren não contabiliza o ângulo de incidência da onda (β). Este parâmetro é medido entre a perpendicular à estrutura e a perpendicular à crista da onda (Figura 2.4). Quando a onda incide perpendicularmente ao perfil da estrutura (o ângulo entre a direção de propagação das ondas e a direção perpendicular ao perfil da estrutura é gradualmente menor), a possibilidade de ocorrer a sua reflexão aumenta. A interação entre as ondas incidentes e as refletidas promovem o aumento das alturas de ondas e consequentemente a ocorrência de galgamentos.

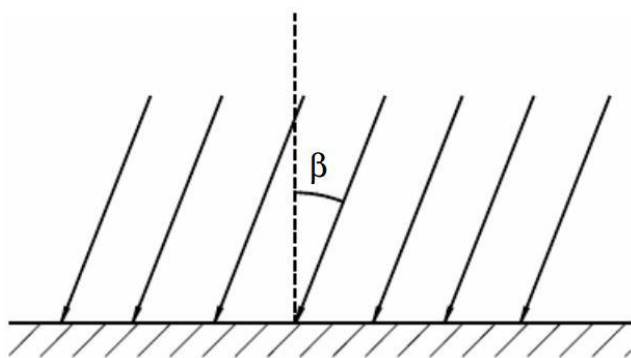


Figura 2.4 – Representação esquemática do ângulo de incidência das ondas (Mariz, 2012).

2.2.2. Nível de maré

O nível de maré é outro dos fatores condicionantes da ocorrência de galgamento e depende principalmente, da maré astronómica e das condições atmosféricas.

A maré astronómica é a única componente que se consegue prever rigorosamente, pois é devida à atração exercida pelo Sol e pela Lua sobre a Terra, astros cujo movimento tem uma periodicidade rigorosamente conhecida.

A probabilidade de ocorrência de galgamento numa estrutura em talude aumenta quando o nível de maré é mais elevado, ou seja, quando ocorre a preia-mar. Tal sucede porque estando o nível de maré mais elevado, existe uma diminuição do desnível entre a cota de coroamento do quebra-mar e o nível da água, e consequentemente existe uma menor área para ocorrer a dissipação de energia da onda quando esta colide com a estrutura.

Da mesma forma, a probabilidade de ocorrência de galgamento aumenta quando as condições atmosféricas são mais severas, originando tempestades. Dá-se então, uma subida temporária

do nível do mar que ocorre devido à variação do campo de pressões e/ou à intensidade do vento. O valor da sobrelevação do nível do mar varia ao longo do tempo e de local para local. A informação do nível de maré pode ser obtida com base em leituras de marégrafos (instrumentos que medem a variação do nível das águas num determinado local e em função do tempo, incluem a maré astronómica e a sobrelevação meteorológica) e através da previsão da maré astronómica (calculada pela análise de séries de observações de ondas harmónicas; ainda se tem de adicionar a sobrelevação meteorológica).

Na presente dissertação, os valores de nível de maré utilizados têm por base os resultados do *software* Xtide (Flatter, 1998).

2.2.3. Geometria da estrutura

As estruturas que serão estudadas no decorrer deste trabalho são designadas por quebra-mares e por esporões.

Os quebra-mares de taludes são estruturas costeiras de secção transversal trapezoidal, que constituem um obstáculo à propagação normal da agitação, permitindo a dissipação da sua energia através da percolação no seu interior e da rebentação da agitação no próprio talude (Pinto & Neves, 2013).

A configuração de um quebra-mar é diversa, dependendo de fatores como a sua função, as operações que se desenrolam na área a abrigar, a agitação marítima e a própria morfologia do local. A Figura 2.5 apresenta um esquema-tipo de um quebra-mar de talude, identificando-se as respetivas partes constituintes (Pereira, 2013):

- (1) Núcleo – Zona interior de enchimento, usualmente constituída por enrocamento de todo o tamanho (TOT); 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; dependendo da altura da agitação incidente, pode ser constituído por blocos artificiais de betão (como tetrápodes, antifers, dolos, core-locs,...); a permeabilidade

e rugosidade do talude permitem o aumento da absorção da energia da onda incidente e a redução da reflexão da onda incidente;

- (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.

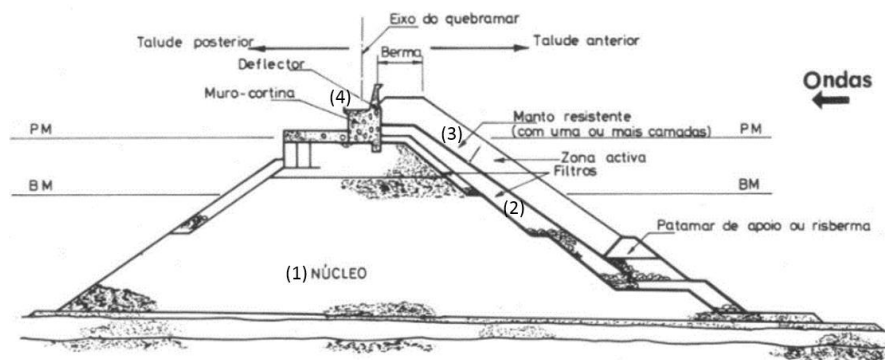


Figura 2.5 – Constituição do perfil corrente de um quebra-mar de talude (Pita, 1986).

Devido ao facto da geometria da estrutura ser fundamental no controlo e redução do galgamento, devem-se executar estudos para garantir o bom funcionamento da estrutura de modo a que os seus objetivos sejam cumpridos. Assim, é importante referir os parâmetros indispensáveis na análise do fenómeno do galgamento (Figura 2.6).

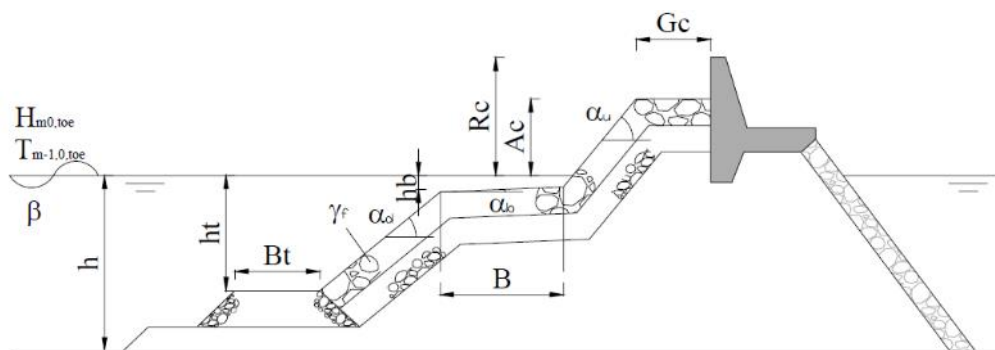


Figura 2.6 – Representação dos parâmetros que definem a geometria da estrutura (Coeveld et al., 2005).

Numa primeira abordagem, a solução mais vantajosa e fácil seria atribuir uma cota de coroamento mais elevada, de forma a tornar a estrutura intransponível. Porém, essa solução levaria a custos da obra muito elevados e à criação de um obstáculo não desejado na paisagem. Assim, a cota de coroamento é definida estimando uma dada probabilidade de excedência e identificando os diversos fatores de funcionamento da estrutura.

Uma das formas mais eficazes na redução do galgamento é dissipar a energia da onda incidente, através da sua rebentação ou do seu espraio (deve-se alterar o perfil da estrutura pela imposição de um elemento ou pelo aumento da largura do coroamento).

Assim, deve-se intervir na definição das variáveis que têm um papel preponderante na diminuição da frequência e intensidade do fenómeno de galgamento, sendo elas a inclinação do talude, a posição e dimensão das bermas, a largura e a cota do coroamento, a permeabilidade e rugosidade da estrutura, e as características da superestrutura.

A permeabilidade e rugosidade (γ_f) da estrutura variam conforme a escolha do tipo de material do manto (enrocamento ou blocos artificiais de betão), o modo de colocação dos blocos e o número de camadas. Quanto maior a permeabilidade e a rugosidade da estrutura, maior será a perda de energia da onda incidente e conseqüentemente menor será o caudal galgado. Além disso, quanto maior o aumento da rugosidade, maior será o atrito entre a superfície onda-estrutura o que levará a uma maior perda de energia para uma mesma distância percorrida pela onda. Por último, quanto maior a permeabilidade, maior a capacidade de infiltração e percolação de água no manto poroso da estrutura, diminuindo o caudal galgado.

A largura da berma de coroamento (G_c) e a distância entre o meio da berma de coroamento e o nível da água (A_c) são parâmetros que quando aumentados podem minimizar o impacto de galgamentos.

Parâmetros como a berma da estrutura (B) e a berma de pé de talude (B_t), também permitem diminuir o galgamento, através da definição dos parâmetros das alturas de água na berma da estrutura (h_b) e na berma de pé de talude (h_t), respetivamente, e ainda pela introdução de inclinação (α_b).

A onda rebenta de acordo com a sua geometria que pode ser alterada modificando o ângulo de inclinação do talude (α_d e α_u).

Em casos extremos, aplica-se ainda um defletor de onda que evita o impacto da agitação mais agressiva, alterando o sentido do escoamento que poderia galgar o coroamento. Este elemento define a distância entre o nível de repouso da água e a cota de coroamento da parte impermeável da estrutura (R_c), pode ser em betão simples ou armado, e tem uma configuração curva.

2.3. Metodologias de cálculo do galgamento

De acordo com o que já foi referido, o galgamento é estimado através do caudal médio por metro linear de estrutura que passa sobre a cota de coroamento da mesma, q ($m^3/s/m$ ou $l/s/m$).

Atualmente o galgamento em estruturas marítimas pode ser estimado através de (Brito, 2007):

- Expressões empíricas;
- Modelos físicos;
- Modelos numéricos;
- Ferramentas neuronais.

As expressões empíricas têm a vantagem de ser um método rápido e económico. No entanto, estão limitadas a um número restrito de configurações, representando estruturas simplificadas. A sua aplicação a outro tipo de configurações requer extrapolações, o que, por vezes, leva a uma discrepância de resultados.

Os modelos físicos são concebidos para aplicações a casos concretos, exigindo portanto, um investimento relativamente elevado em laboratório.

Os modelos numéricos, depois de avaliados e validados, podem ser utilizados em diversas situações dentro da sua gama de aplicabilidade, mediante as apropriadas condições iniciais ou de fronteira.

As redes neuronais artificiais têm a capacidade de lidar com dados incompletos, imprecisos, conflituosos e conseguem simular em máquinas o funcionamento do cérebro humano, de um modo simples: reconhecem padrões e detetam relações entre um conjunto de dados aparentemente desconexos.

Todos estes fatores tornam a sua aplicação no campo das engenharias, nomeadamente engenharia costeira e portuária, bastante atrativa, visto que nestas áreas se trabalha com complexos fenómenos físicos, como é o caso do galgamento de estruturas marítimas.

Neste trabalho, utilizou-se a ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 (Coeveld et al., 2005) baseada em redes neuronais e desenvolvida no âmbito do projeto europeu Crest Level Assessment of coastal Structures by full scale monitoring, neural network prediction and

Hazard analysis on permissible wave overtopping (CLASH). Esta ferramenta apresenta algumas vantagens relativamente aos restantes métodos, entre as quais:

- Capacidade de prever o caudal médio galgado em perfis de estruturas mais complexas do que as usualmente contempladas pelas fórmulas empíricas/semi-empíricas dada a possibilidade de impor uma diversidade de parâmetros de entrada;
- Determinação de intervalos de confiança para as estimativas do caudal médio galgado;
- Influência dos efeitos de modelo e de escala na estimativa correspondente ao protótipo.

2.4. Galgamentos admissíveis

É necessário adotar medidas de prevenção da ocorrência de galgamentos, visto o fenómeno dar origem a danos que têm custos elevados. É fundamental que as estruturas costeiras e portuárias sejam corretamente dimensionadas e posteriormente construídas, de forma a dissipar o máximo de energia possível das ondas. É a medida fundamental para minimizar o galgamento sobre este tipo de infraestruturas.

Mas devido a limitações financeiras e não só, por vezes, as estruturas são dimensionadas para suportar um certo valor de galgamento pelo que há necessidade em definir limites admissíveis de caudais galgáveis nas estruturas, de modo a que o normal funcionamento da obra e a sua segurança, bem como de pessoas e bens, não sejam comprometidos.

Os valores limites admissíveis de galgamento adotados neste trabalho baseiam-se nas recomendações de Pullen et al. (2007) e são representados nos Quadro 2.1, Quadro 2.2, Quadro 2.3 e Quadro 2.4.

Quadro 2.1 – Valores admissíveis do caudal médio galgado admissível para as estruturas marítimas (adaptado de Pullen et al., 2007).

Condições e Tipo de Danos		Caudal médio q [l/s/m]
Estruturas de Defesa com Talude no Tardoz	Sem danos se o coroamento e o tardoz estiverem bem protegidos.	50 - 200
	Sem danos no coroamento e no tardoz de um dique de argila coberto por relva.	1 - 10
	Sem danos no coroamento e no tardoz mesmo se não estiverem 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 2.2 – Valores admissíveis do caudal médio galgado admissível 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 se podem molhar, 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 ⁽¹⁾ .	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

⁽¹⁾ Estas condições não têm que se verificar todas em simultâneo.

Quadro 2.3 – Valores admissíveis do caudal médio galgado 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 (<i>pulsating overtopping</i>), sem jatos de água a cair na via, veículo não imerso.	10 - 50 ⁽¹⁾
Circulação a velocidade moderada ou alta, galgamento projetado com grande velocidade (<i>impulsive overtopping</i>) ou com jatos de água a cair na via que podem imergir o veículo.	0.01 - 0.05 ⁽²⁾

(1) Estes limites estão relacionados com o galgamento efetivo obtido na via de circulação.

(2) Estes limites estão relacionados com o galgamento obtido na estrutura marítima, mas é assumido que a via de circulação se encontra imediatamente atrás da estrutura.

Quadro 2.4 – Valores admissíveis do caudal médio galgado 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. Danos em grandes barcos.	10 ⁽¹⁾
Danos em edifícios.	1 ⁽²⁾
Danos em equipamento localizado a 5 - 10 m da estrutura.	0.4 ⁽¹⁾

(1) Estes limites estão relacionados com o galgamento obtido na estrutura marítima.

(2) Estes limites estão relacionados com o galgamento efetivo obtido no edifício.

Devido à variação significativa do caudal galgado com as condições de agitação marítima e com a geometria da estrutura, os valores que constam no Quadro 2.2 (onde se refere os valores admissíveis do caudal médio galgado admissível para pessoas), devem ser sujeitos a novos estudos pois a informação fornecida pelo caudal médio galgado, q, não deve ser usada como o único indicador de segurança.

Note-se que para garantir a segurança de pessoas que se encontram na vizinhança de uma estrutura marítima, Pullen et al. (2007) referiram uma taxa crítica mais severa de $q = 0.03$ l/s/m, mas apenas para casos especiais: pessoas totalmente desprevenidas, que não

conseguem visualizar a agitação incidente, que podem facilmente ficar perturbadas ou assustadas, que não estão vestidas de forma apropriada para se molharem, que se desloquem numa zona estreita ou propícia a tropeções e quedas.

Além disso, Pullen et al. (2007) apresentam uma fórmula aproximada a aplicar caso se pretenda prever o caudal médio galgado em algumas zonas situadas a uma certa distância, x , da estrutura galgada (passeios, estradas, edifícios, propriedades, etc):

$$q_x = \frac{q}{x} \quad [2.3]$$

em que

q_x – caudal médio galgado calculado num ponto a x metros da estrutura galgada

q – caudal médio galgado da estrutura

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

3. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DO RISCO DE GALGAMENTO

3.1. Introdução

O conceito de risco tem um lugar privilegiado na sociedade contemporânea e tem acompanhado, de um modo mais ou menos consciente, a aventura da humanidade na fazer frente a perigos e incertezas associados aos sucessivos futuros (Betâmio de Almeida, 2011). Tendo este conceito diversas raízes, criadas em épocas e territórios muito distantes, e múltiplas dimensões humanas e sociais, é natural que os discursos e as teorias do risco, desenvolvidas por diferentes comunidades científicas e técnicas, não sejam totalmente concordantes.

Com efeito, a construção do conceito risco está relacionada a três fatores:

- Incertezas (na realização do acontecimento e nas respectivas condições e características de realização);
- Intensidade de atuação;
- Consequências (efeitos ou danos provocados pelo impacto nos recetores).

No presente trabalho aplica-se uma definição de avaliação de risco, que se traduz pela combinação entre os valores de probabilidade de ocorrência de um dado evento perigoso (como as inundações ou os galgamentos que ocorrem devido à ação das ondas) com os valores de consequências da mesma ocorrência. Desta combinação resulta a Equação 3.1, onde se determina o grau de risco, em que o grau de probabilidade está associado à probabilidade de ocorrência de um evento perigoso e o grau de consequência é atribuído de acordo com os prejuízos obtidos no mesmo evento.

$$\text{Grau de Risco} = \text{Grau de Probabilidade} \times \text{Grau de Consequências} \quad [3.1]$$

Este capítulo inicia-se com alguns conceitos sobre o risco e referem-se algumas metodologias adotadas para avaliação do risco, dando especial ênfase à problemática da avaliação das consequências da ocorrência de um acontecimento perigoso.

As metodologias apresentadas expõem a extensibilidade do tema da avaliação do risco, a diversidade dos aspetos a estudar e dos respetivos processos de tratamento, que permitem avaliar o risco, independentemente da sua origem.

3.2. Conceitos base

Ao longo da presente dissertação, serão abordados diferentes conceitos relacionados com o risco e a sua avaliação. Assim, neste capítulo, descrevem-se os conceitos mais importantes relacionados com risco através da revisão da NP ISO 31000:2013 – Gestão do risco. Princípios e linhas de orientação.

Define-se **risco** como um efeito de incerteza nos objetivos, tratando-se da combinação da probabilidade de um acontecimento perigoso e a sua consequência.

A **gestão do risco** é composta pelas atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização no que respeita ao risco, tratando o **processo da gestão do risco** (Figura 3.1) da aplicação sistemática de políticas, procedimentos e práticas da gestão às atividades de comunicação, consulta, estabelecimento do contexto e identificação, análise, avaliação, tratamento, monitorização e revisão do risco. Este processo deverá ser uma parte integrante da gestão da organização, integrado na cultura e práticas organizacionais e feito à medida dos processos de negócio da organização.

A **fonte de risco** é o elemento que, por si só ou em combinação com outros, tem o potencial intrínseco de originar um risco e a sua **identificação** baseia-se num processo de pesquisa, de reconhecimento e de descrição dos riscos. Após a sua identificação, é necessário adotar uma **atitude face ao risco**, que revela a abordagem da organização para apreciar e, segundo o caso, perseguir, reter, aceitar ou rejeitar o risco.

Através do **estabelecimento do contexto**, a organização enuncia os seus objetivos, define os parâmetros internos e externos a ter em consideração quando se gere o risco, bem como o âmbito e os critérios do risco para as restantes partes do processo.

A **análise do risco** é o processo destinado a compreender a natureza do risco e a determinar o nível do risco. Este último representa a magnitude de um risco ou combinação de riscos, expressa em termos da combinação de consequências (resultado de um evento que afeta os objetivos) e respetivas verosimilhanças (possibilidade de algo ocorrer). A **apreciação do**

risco é um processo global que permite a identificação do risco, a análise do risco e a avaliação do risco.

Sabendo que os **critérios do risco** traduzem os termos de referência em relação aos quais a significância de um risco é avaliada, realiza-se a **avaliação de risco**, que tem como objetivo apoiar a tomada de decisões, comparando os resultados da análise do risco com os critérios do risco de modo a determinar se este e/ou a respetiva magnitude é aceitável ou tolerável.

O **tratamento do risco** é normalmente associado a consequências negativas e envolve todo o processo que modifica o risco: mitigação do risco, eliminação do risco, prevenção do risco e a redução do risco. Seguidamente deve-se **monitorizar o risco**, ou seja, verificar, supervisionar, observar criticamente ou determinar o estado, de modo a identificar-se continuamente as alterações do nível de desempenho requerido ou esperado. E por fim, a **revisão** que expressa a atividade levada a cabo para determinar a adaptação, adequação e a eficácia, da matéria visada para atingir os objetivos estabelecidos. Estes dois últimos aspetos referidos permitem atingir e assegurar a melhoria contínua do sistema.

A **comunicação e a consulta** às partes interessadas, internas e externas, deverão acontecer durante todas as fases do processo da gestão do risco e por isso, devem ser desenvolvidas na fase inicial do processo. Estes planos abordam questões relacionadas com o próprio risco, as suas causas, as suas consequências (se conhecidas) e as medidas que estão a ser tomadas para o tratar. É fundamental envolver as partes interessadas (garantindo o respeito de aspetos de confidencialidade e de integridade pessoal), pois estas produzem juízos sobre risco baseados nas suas perceções de risco. Estas perceções de risco podem variar devido a diferenças nos valores, necessidades, pressupostos e preocupações das partes interessadas. Dado que os seus pontos de vista podem ter um impacto significativo nas decisões tomadas, as perceções das partes interessadas deverão ser identificadas, registadas e tidas em consideração no processo de tomada de decisão.

O presente estudo enquadra-se na etapa de avaliação do risco, onde se identifica e se analisa o risco da ocorrência de galgamentos sobre estruturas portuárias e ainda, se decide se este é aceitável ou não, de acordo com comparações realizadas entre os resultados da análise de risco com os critérios existentes das metodologias aplicadas.

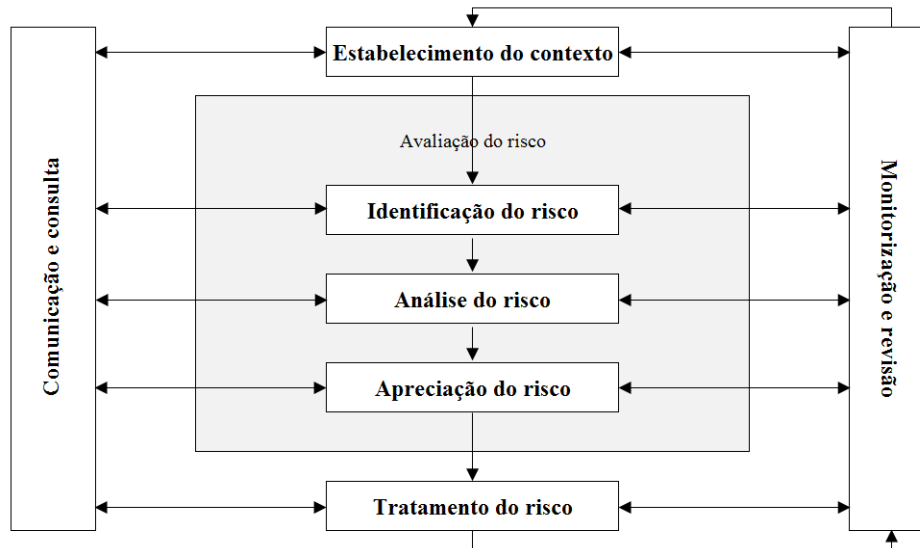


Figura 3.1 – Processo da gestão do risco (adaptado de NP ISO 31000:2013).

3.3. Metodologias de avaliação do risco

Nos últimos tempos, têm sido desenvolvidas metodologias para a avaliação do risco associado aos fenómenos de galgamento tanto em zonas costeiras como em zonas portuárias com o principal intuito de construir mapas de risco realistas de modo a facilitar a tomada de decisão pelas entidades responsáveis (Fortes et al., 2015).

A metodologia AHP foi desenvolvida por Saaty (1980) e permite decompor um problema em todas as variáveis que o constituem, num esquema de critérios e subcritérios, realizando-se posteriormente comparações par a par entre as mesmas, resultando pesos que permitem classificar os indicadores espaciais que caracterizam uma dada zona de estudo.

A metodologia já foi aplicada em diversos contextos, como engenharia, política, indústria, saúde e educação. Destacam-se os estudos realizados por Antunes (2012), que estudou conflitos ambientais provocados pela erosão costeira, e os estudos de Poseiro et al. (2013b) e Rodrigues (2014), que aplicaram a metodologia AHP para avaliar as consequências da ocorrência de galgamentos, através do desenvolvimento de um índice espacial de pressão antrópica.

A metodologia ANP, também desenvolvida por Saaty (1996), é uma extensão da metodologia anterior, com a vantagem de se poder acrescentar relações de dependência entre os elementos. Utilizou-se a metodologia ANP, para se desenvolver pesquisas na área da economia, política

e indústria, entre outras. No entanto, nunca se realizaram estudos que permitissem avaliar o risco da ocorrência de galgamentos.

No LNEC, a metodologia designada por simples foi desenvolvida por Reis et al. (2011) e Neves et al. (2012) com o objetivo de se avaliar o risco associado à ocorrência de galgamentos. Esta metodologia simplista passa por identificar os valores limites do caudal médio galgado por metro linear da estrutura, de acordo com as tabelas de Pullen et al. (2007). Posteriormente, determina-se a probabilidade de ocorrer em galgamentos e atribui-se uma escala de graus de probabilidade e define-se o grau de consequências (de acordo com um quadro bastante genérico e que não quantifica as consequências). Por fim, o grau de risco é determinado pela multiplicação entre o grau de probabilidade e o grau de consequências (analisa-se o grau de risco através de um quadro que apresenta limites de aceitabilidade do grau de risco). Foi aplicada a metodologia à baía e ao porto da Praia da Vitória, em três secções-tipo das obras marítimas.

Poseiro et al. (2013a) aplicou a mesma metodologia ao porto e à baía da Praia da Vitória, para o período de análise da agitação marítima de 5 anos (de 2008 a 2012), a 8 secções-tipo pertencentes ao porto em estudo. Mais tarde, Reis et al. (2014) também aplicou a metodologia simplista ao caso de estudo anterior, para o mesmo período de análise da agitação marítima, mas a 9 secções-tipo pertencentes ao porto em estudo.

Existem outros trabalhos que também aplicaram a metodologia simples do LNEC ao porto de Ponta Delgada, como Pereira (2013) e Rodrigues (2014). Pereira (2013) aplicou a metodologia simplista para o período de apenas 2 anos (2011 e 2012) de dados da agitação marítima, considerando 5 secções no interior e exterior do porto. Rodrigues (2014) aplicou a mesma metodologia considerando um período de 34 anos (1979-2013) de dados de agitação marítima e aplicada a doze secções do porto.

3.4. Metodologia de avaliação do risco desenvolvida pelo LNEC

A metodologia aplicada pelo LNEC (Fortes et al., 2014a,b,c) para avaliar o risco relativamente a episódios de galgamentos de estruturas marítimas é constituída por três componentes: Módulo I - Características da Agitação Marítima; Módulo II - Galgamento/Inundação; Módulo III - Avaliação do Risco.

Módulo I – Características da Agitação Marítima

Os parâmetros que determinam as características de agitação marítima, quer em zona portuária, quer em zona costeira, são:

- Altura da onda significativa (H_s);
- Período de onda (T_m ou T_p);
- Direção média do período de pico (θ_m ou θ_p).

Para a avaliação do risco, utilizam-se séries temporais longas de parâmetros de agitação marítima, uma vez que nestas será mais provável a ocorrência de características da agitação marítima capazes de levar a galgamentos importantes.

Assim, as variáveis descritas anteriormente obtêm-se a partir de séries temporais longas fornecidas ao largo da zona em estudo por modelos numéricos de previsão de agitação marítima à escala oceânica, como o modelo WAM (Hasselmann et al., 1988).

Com base nas estimativas anteriores, são aplicados outros modelos numéricos para a propagação da agitação marítima desde o largo até junto à costa, como o modelo SWAN (Booij et al., 1999), ou até ao interior de uma zona portuária/abrigada, como o modelo DREAMS (Fortes, 1993, 2002).

A implementação do Módulo I rege-se pela seguinte metodologia (Fortes et al., 2014a,b,c):

- 1) Estimativa da agitação marítima a uma escala oceânica (WAM, Hasselmann et al., 1988);
- 2) Propagação da agitação marítima a uma escala regional da zona costeira (SWAN, Booij et al., 1999);
- 3) Transformação da agitação marítima até às estruturas de proteção costeira e portuária (DREAMS, Fortes, 1993, 2002).

Módulo II – Galgamento/Inundação

Existem diversos métodos para determinar e avaliar os galgamentos, como modelos físicos, modelos numéricos, fórmulas empíricas ou ferramentas neuronais. Apesar das fórmulas empíricas e as redes neuronais produzirem uma resposta aceitável e serem rápidas, atualmente, adotam-se com maior frequência as ferramentas neuronais para as zonas portuárias, e as fórmulas empíricas para zonas costeiras. Tal deve-se ao facto de as fórmulas

empíricas serem modelos simples e por ainda não existir nenhum modelo mundialmente validado, para estimar a erosão da praia com exatidão, ao contrário das zonas portuárias, para as quais existem ferramentas capazes de estimar os valores de caudais galgados.

Para cálculo da inundação em zonas costeiras, sem e com estruturas de proteção, utilizam-se fórmulas empíricas da literatura que estimam o espraiamento e/ou o galgamento (Fortes et al., 2014a), testadas no âmbito do HIDRALERTA (Mase et al., 2013; Reis et al., 2014).

No caso das zonas portuárias, estimaram-se os galgamentos com base numa ferramenta neuronal, NN_OVERTOPPING2 (Coeveld et al., 2005). A ferramenta neuronal consiste num procedimento de transformação de 15 parâmetros de entrada do problema, que incluem informação sobre a agitação marítima e as características do perfil da estrutura, no caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura.

A ferramenta NN_OVERTOPPING2 foi desenvolvida no âmbito do projeto CLASH. Esta ferramenta processa os resultados produzidos por 700 redes neuronais artificiais e fornece os valores dos caudais médios galgados por unidade de comprimento do coroamento da estrutura, q , bem como outros valores característicos desta grandeza obtidos a partir da amostra gerada pelo conjunto de redes neuronais. As redes neuronais contidas na mesma ferramenta são baseadas em cerca de 8400 combinações de *input-output* provenientes de dados de campo e de ensaios em modelo físico reduzido para diversas características da agitação e diferentes tipos de perfis de estruturas. Os ensaios foram realizados em diversos laboratórios espalhados pela Europa, América e Japão.

Módulo III – Avaliação do Risco

Tal como referido no subcapítulo 3.1, a avaliação do risco dos galgamentos/inundações é realizada de acordo com a combinação entre os valores de probabilidade de ocorrência de galgamentos superiores a um determinado limiar de caudal médio galgado e os valores de consequências relativos à superação desse limiar.

A metodologia que tem vindo a ser desenvolvida pelo LNEC é de carácter simplista, avaliando globalmente e qualitativamente as consequências de ocorrência de galgamentos/inundações excessivos numa dada zona de estudo.

Atribui-se à probabilidade de ocorrência uma escala de graus de probabilidade (no lugar da probabilidade da ocorrência do acontecimento perigoso), como se apresenta no Quadro 3.1 e

às consequências uma escala de graus de consequências (em vez do prejuízo associado a este acontecimento), como se apresenta Quadro 3.2.

A análise das consequências relativamente à avaliação qualitativa do risco baseia-se no Quadro 3.2 que, apesar de ser ainda bastante genérico e de não quantificar as consequências (Pereira, 2013), foi desenvolvido com base em informação fornecida por autoridades portuárias/costeiras. É de notar que a escala do grau de consequências foi adotada de forma a ser possível, no cálculo do nível de risco, ter em conta a importância do risco no que diz respeito ao seu controlo e priorização. Ou seja, pretende dar mais relevância a um risco resultante de uma baixa probabilidade e consequências catastróficas relativamente a um risco de elevada probabilidade mas consequências insignificantes.

O grau de risco é determinado com base na Equação 3.1 e o Quadro 3.3 define a aceitabilidade do grau do risco. É de notar que os limites correspondentes aos graus nas tabelas de probabilidade e de consequências, bem como o próprio número de graus, são simples guias de orientação que devem refletir as características do problema em análise (Fortes et al., 2014a,b,c).

Quadro 3.1 – Grau de probabilidade associado à ocorrência de acontecimento perigoso (Fortes et al., 2014a,b,c).

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

Quadro 3.2 - Grau de consequências associado à ocorrência de acontecimento perigoso (Pereira, 2013).

Descrição	Consequências (Guia de orientação)							Grau
	Pessoas	Ambiente	Gestão portuária	Património				
				Edifícios	Equipamentos	Estrutura marítima	Veículos	
Insignificante	Possibilidade de ferimentos muito ligeiros	Impacto ambiental desprezável	Alterações ligeiras nas atividades portuárias	Danos exteriores quase inexistentes	Danos quase inexistentes	Dano 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 local	Danos interiores e exteriores insignificantes	Danos ligeiros que não implicam a paragem do equipamento; resolução de problemas quase imediata	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos sem exposição de filtros; reparação imediata desnecessária	Danos insignificantes 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 condicionadas; possibilidade de paragem parcial do porto; má publicidade generalizada	Danos interiores moderados	Danos que implicam inatividade temporária do equipamento para reparação	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos com exposição de filtros; superestrutura afetada mas sem movimentos significativos	Danos sérios com consequências na sua utilização, mas que não levam à sua paragem temporária	5
Muito sérias	Muitas lesões graves ou uma perda de vida	Episódios 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 vida	Derrames generalizados 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 – Aceitabilidade do grau de risco (Fortes et al., 2014a,b,c).

GRAU DE RISCO	Consequências					
	1	2	5	10	25	
Probabilidade de Ocorrência	1	1	2	5	10	25
	2	2	4	10	20	50
	3	3	6	15	30	75
	4	4	8	20	40	100
	5	5	10	25	50	125

Grau	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 selecione um conjunto de medidas para o seu controlo, possíveis danos materiais de pequena dimensão
15 - 30	Indesejável	Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é necessário a monitorização
40 - 125	Inaceitável	Risco intolerável; implica 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)

3.5. Metodologias multi-critério de avaliação das consequências

Saaty (1996) refere que a tomada de decisão é um assunto complexo, no qual as ideias e os princípios não são bem compreendidos ou praticados, com uma lógica conveniente.

Resolver problemas através de métodos MCDM (Multi Criteria Decision Making) implica muitas vezes realizar medições relativas. Porém, o cérebro humano tem uma limitação para realizar comparações desse tipo, pelo que surgiu a necessidade em criar métodos que auxiliassem a tomada de decisão, como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o *Analytic Network Process* (ANP).

3.5.1. Metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

A metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi desenvolvida por Saaty (1980) para facilitar a seleção e confronto entre opções estratégicas no domínio das empresas ou da economia.

A mesma parte do princípio de que os processos de hierarquização de informação e a tomada de decisão não podem dispensar premissas subjetivas de julgamento por parte de seres humanos. Neste sentido, e considerando ainda que a hierarquização de informação e a tomada de decisão devem demonstrar um elevado grau de consistência interna (evitando-se contradições que podem derivar de juízos subjetivos), a metodologia AHP permite submeter a testes de consistência os próprios resultados obtidos com a sua aplicação.

Segundo Saaty (1980), quando se é confrontado com um determinado problema, o pensamento humano é de tal modo organizado, que identifica de imediato os objetivos, os recursos necessários e as consequências que esse problema pode provocar. Trata-se de um processo fundamental de percepção que Saaty utilizou para fundamentar o *Analytic Hierarchy Process*.

Deste modo, a presente metodologia exige uma estruturação do problema em vários níveis: o primeiro nível é a identificação do objetivo a alcançar em determinado problema, o segundo a definição dos critérios e o terceiro, a definição dos subcritérios (Figura 3.2).

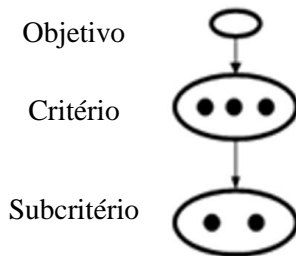


Figura 3.2 – Estrutura do modelo AHP (Görener, 2012)

A metodologia que se segue foi apresentada por Saaty (1980 e 2003) e tem como principal objetivo determinar os pesos de cada um dos critérios através de julgamentos quantificados pelo observador. Ou seja, a partir de valores relativos associados aos pares de variáveis, é possível associar um conjunto de pesos a variáveis individuais, que por sua vez refletem os julgamentos qualitativos.

Pretende-se determinar w_i , o peso de influência do critério C_i , a partir da classificação subjetiva da importância do critério C_i face ao critério C_j (onde $i, j = 1, 2, \dots, n$), realizada com base no Quadro 3.4 (Saaty, 2005).

Quadro 3.4 – Escala fundamental de Saaty (adaptado de Saaty, 1980).

Intensidade de importância	Recíproco	Definição	Explicação
1	1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	1/3	Fraca importância de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	1/5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	1/7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra com o mais alto grau de certeza
9	1/9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Valores intermédios	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Seja A a matriz que armazena aquelas importâncias relativas. Então $A = [a_{ij}]$ onde $i, j = 1, 2, \dots, n$, é uma matriz quadrada, contendo $n \times n$ elementos.

Uma vez que aquela classificação subjetiva estabelece quantas vezes o critério C_i é mais importante que o critério C_j , não é difícil concluir que $a_{ji} = 1/a_{ij}$. Isto é, definido o coeficiente a_{ij} da matriz A , está automaticamente definido o coeficiente a_{ji} da mesma matriz (Equação 3.2).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad [3.2]$$

Atendendo à definição do coeficiente a_{ij} dada acima (quantas vezes o critério C_i é mais importante que o critério C_j) é válido escrever $a_{ij} = w_i / w_j$, resultando a matriz apresentada na Equação 3.3.

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad [3.3]$$

Fazendo o produto da matriz A pelo vetor W , dos pesos de influência, $W = [w_j]$, obtém-se a Equação 3.4. Esta equação expressa o facto de W ser um vetor próprio de A , com valor próprio de n .

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad [3.4]$$

Simplificando a equação anterior, obtém-se a Equação 3.5.

$$A \times W = n \times W \quad [3.5]$$

isto é, W é o vetor próprio da matriz A correspondente ao valor próprio da mesma matriz, $\lambda = n$. Logo, para se conhecer o peso de influência de cada critério basta determinar o vetor próprio correspondente ao valor próprio $\lambda = n$.

O que acabou de descrever-se é claramente verdade quando as importâncias relativas satisfazem a condição $a_{ji} = 1/a_{ij}$. Uma vez que a matriz não é construída com essa preocupação (ela resulta de uma comparação subjetiva entre critérios), para se verificar que o vetor próprio

(W) corresponde ao maior valor próprio (λ) da matriz A, é necessário garantir que a matriz A é consistente ($a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk}$), e como tal, é indispensável fazer o teste de consistência.

Inicia-se o teste a calcular o Índice de Consistência, CI, que é dado pela Equação 3.6, em que n é o número de elementos avaliados.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad [3.6]$$

Para finalizar, calcula-se a Taxa de Consistência, CR, através da Equação 3.7, em que RI (Índice de Consistência Aleatória) é fixo e tem como base o número de elementos avaliados, de acordo com o Quadro 3.5. Caso $CR < 10\%$ a matriz é considerada consistente, pois os resultados são suficientemente precisos e não é necessário uma nova aplicação da metodologia. Caso $CR > 10\%$, os resultados não são consistentes e a atribuição de pesos deve ser reavaliada ou descartada.

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \quad [3.7]$$

Quadro 3.5 – Tabela de índices de consistência aleatória, RI (Poseiro et al., 2013a, b).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

Para se determinar os pesos dos subcritérios em relação ao objetivo, define-se a seguinte matriz, onde se verifica que os subcritérios dependem apenas deles mesmos, não ocorrendo qualquer alteração em relação ao seu estado inicial (Equação 3.8).

$$\begin{bmatrix} \text{Objetivo} \\ C_1 \\ C_2 \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \\ \alpha_{13} \\ \alpha_{21} \\ \alpha_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & P_1 & P_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{11} & P_{12} & P_{13} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{21} & P_{22} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Objetivo} \\ C_1 \\ C_2 \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \\ \alpha_{13} \\ \alpha_{21} \\ \alpha_{22} \end{bmatrix} \quad [3.8]$$

3.5.2. Metodologia *Analytic Network Process* (ANP)

O modelo *Analytic Network Process* (ANP) foi desenvolvido por Saaty (1996) e é caracterizado como uma extensão da AHP, permitindo a análise de sistemas mais complexos, onde a influência é o conceito chave do modelo.

A metodologia permite resolver um problema complexo de decisão, analisá-lo e identificar os elementos que possibilitam a sua resolução, isto é, que auxiliem os decisores a tomar uma decisão. Trata-se de uma técnica cujo objetivo passa por comparar e determinar as importâncias relativas entre os elementos de decisão, definindo-se mais tarde, os pesos finais dos elementos em estudo.

Como o próprio nome diz, é um método baseado em redes de ligações onde se tem em consideração a possível existência de dependências entre os elementos que constituem o problema, sem a necessidade de especificar níveis como num sistema hierárquico, ao contrário do modelo AHP. Esta diferença entre os dois métodos revela-se de extrema importância, face à circunstância, de muitos dos problemas não poderem ser estruturados hierarquicamente, em virtude das várias ligações existentes entre os seus elementos.

Nesta metodologia, o *cluster* tem a função de organizar o problema, uma vez que se trata de um conjunto formado por um critério e os subcritérios a que lhe pertencem.

Assumindo-se uma relação hierárquica entre todos os elementos (objetivo, critério e subcritério), a metodologia ANP baseia-se em três tipos de interações entre os elementos que compõem o problema:

- Interação entre todos os critérios e o objetivo do problema (dependência externa);
- Interação entre todos os subcritérios pertencentes a cada um dos critérios (dependência interna);
- Interação entre todos os subcritérios pertencentes a todos os critérios (*feedback*).

A Figura 3.3 apresenta a estrutura do modelo em causa.

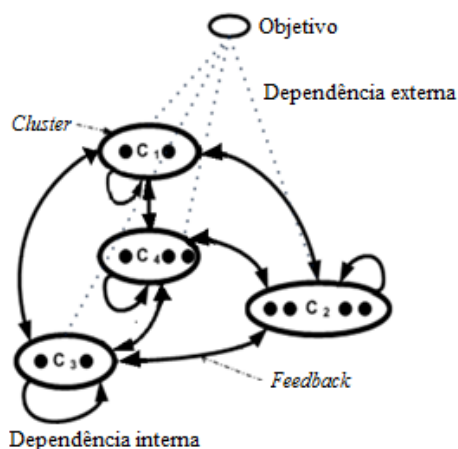


Figura 3.3 – Estrutura do modelo ANP (Görener, 2012)

Saaty & Vargas (2006) identificam as quatro etapas principais constituintes do ANP:

1ª Etapa – Construção e estruturação do problema

O problema deve ser definido num sistema lógico, à semelhança de uma rede.

2ª Etapa – Criação de matrizes de comparação emparelhadas

De acordo com a metodologia AHP (descrita no subcapítulo 3.5.1), com as interações definidas anteriormente, e correspondendo cada interação a uma matriz de comparação, tem-se:

- Uma matriz de comparação por cada contributo dos critérios para o objetivo do problema;
- Uma matriz de comparação por cada contributo dos subcritérios para o critério a que dependem;
- Uma matriz de comparação por cada interação entre quaisquer subcritérios, independentemente do critério para o qual contribuem

Tendo em consideração que os dois primeiros tipos de comparações descritos não são novidade nesta metodologia (já foram abordados na metodologia AHP), explica-se de seguida o último tipo de comparação.

Sabendo que uma estrutura em rede poderá ter uma representação complexa (Figura 3.3), o que pode dificultar a sua análise, define-se uma matriz binária (U) que simplifica a análise de todas as possíveis interações entre os subcritérios (onde o valor 0 é indicador de não existir relação e o valor 1 o contrário).

Assim, através das interações entre subcritérios (sc_i , com $i = 1, 2, \dots, n_i$), estabelecidas na matriz binária (U), compara-se cada subcritério com os restantes.

O processo seguinte é semelhante ao AHP, em que cada subcritério que interage com outros subcritérios, é comparado um a um com os restantes subcritérios, atribuindo-se maior ou menor importância em relação aos outros.

Assim, a cada interação definida corresponde-se uma matriz de comparação preenchida pelos julgamentos quantificados dos *stakeholders*. A cada matriz de comparação está associado um vetor próprio (W), onde se apresentam as importâncias relativas entre os subcritérios em comparação. Quando não há relação entre subcritérios, o vetor próprio (W) é nulo.

Os pesos são atribuídos com base na escala fundamental de Saaty (2005), de acordo com o Quadro 3.4.

Para cada uma das matrizes de comparação deve ser verificado o Índice de Consistência (Equação 3.6) e a Taxa de Consistência (Equação 3.7).

3ª Etapa – Formação da Super-matriz

Segundo Saaty (2004), a super-matriz (M) é definida como um sistema, constituído por n clusters, segundo o qual os elementos existentes interagem uns com os outros, produzindo interações em todo o sistema, identificando-se as influências individuais e coletivas dos elementos.

De acordo com a etapa anterior, a cada interação existente no sistema associa-se um vetor próprio (W), que será inserido devidamente nas colunas da super-matriz (M), onde constam as influências existentes entre todos os elementos, de acordo com a Equação 3.9.

$$M = \begin{matrix} & \text{Objetivo} & \text{Critérios} & \text{Subcritérios} \\ \text{Objetivo} & \left[\begin{array}{ccc} 0 & M_{12} & 0 \\ 0 & 0 & M_{23} \\ 0 & 0 & M_{33} \end{array} \right] \\ \text{Critérios} & & & \\ \text{Subcritérios} & & & \end{matrix} \quad [3.9]$$

Tendo em consideração que a super-matriz (M) é quadrada ($n \times n$) e supondo que C_i , com $i = 1, 2, \dots, n$ critérios, é composto por $sc_1, sc_2, \dots, sc_{ni}$ subcritérios, M é constituída por:

- M_{12} é o vetor que representa o impacto dos critérios face ao objetivo do problema, cujos coeficientes são descritos por m_{Ci} , em que $i = 1, 2, \dots, n$;
- M_{23} é definida como uma matriz, composta pelos vetores que representam os impactos dos subcritérios em cada um dos critérios, cujos coeficientes são descritos por $m_{sck,Ci}$, em que $i, k = 1, 2, \dots, n$;
- M_{33} é uma matriz, composta pelos vetores que representam as dependências entre um subcritério e todos os outros, cujos coeficientes são descritos por $m_{sck,Ci,scu,Cj}$, em que $i, j, k, u = 1, 2, \dots, n$;

Assim, as sub-matrizes M_{21} , M_{32} e M_{33} são definidas de acordo com as Equações 3.10, 3.11 e 3.12, respetivamente.

$$M_{12} = \begin{matrix} & \text{Critérios} \\ & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} m_{C_1} \\ m_{C_2} \\ \dots \\ m_{C_n} \end{matrix} & \end{matrix} \quad [3.10]$$

$$M_{23} = \begin{matrix} & & \text{Subcritérios} & & & & & & & & \\ & & C_1 & & C_2 & & \dots & & C_n & & \\ & \begin{matrix} \text{sc}_{1,C_1} & \dots & \text{sc}_{n,C_1} \\ \text{sc}_{1,C_2} & \dots & \text{sc}_{n,C_2} \\ \dots & & \dots \\ \text{sc}_{1,n} & \dots & \text{sc}_{n,C_n} \end{matrix} & & & & & & & & \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_n \end{matrix} & \left[\begin{matrix} m_{\text{sc}_{1,C_1}} & \dots & m_{\text{sc}_{n,C_1}} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & m_{\text{sc}_{1,C_2}} & \dots & m_{\text{sc}_{n,C_2}} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & & \dots & \dots & & \dots & & \dots & & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & m_{\text{sc}_{1,C_n}} & \dots & m_{\text{sc}_{n,C_n}} \end{matrix} \right] \end{matrix} \quad [3.11]$$

$$M_{33} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{sc}_{1,C_1} & \dots & \text{sc}_{n,C_1} & \text{sc}_{1,C_2} & \dots & \text{sc}_{n,C_2} & \text{sc}_{1,C_n} & \dots & \text{sc}_{n,C_n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{sc}_{1,C_1} \\ \vdots \\ \text{sc}_{n,C_1} \end{matrix} & \left[\begin{matrix} 0 & \dots & 0 & m_{\text{sc}_{1,C_1}\text{sc}_{1,C_2}} & \dots & m_{\text{sc}_{1,C_1}\text{sc}_{n,C_2}} & m_{\text{sc}_{1,C_1}\text{sc}_{1,C_n}} & \dots & m_{\text{sc}_{1,C_1}\text{sc}_{n,C_n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & m_{\text{sc}_{n,C_1}\text{sc}_{1,C_2}} & \dots & m_{\text{sc}_{n,C_1}\text{sc}_{n,C_2}} & m_{\text{sc}_{n,C_1}\text{sc}_{n,C_n}} & \dots & m_{\text{sc}_{n,C_1}\text{sc}_{n,C_n}} \end{matrix} \right] \\ \begin{matrix} \text{sc}_{1,C_2} \\ \vdots \\ \text{sc}_{n,C_2} \end{matrix} & \left[\begin{matrix} m_{\text{sc}_{1,C_2}\text{sc}_{1,C_1}} & \dots & m_{\text{sc}_{n,C_2}\text{sc}_{n,C_1}} & 0 & \dots & 0 & m_{\text{sc}_{1,C_2}\text{sc}_{n,C_n}} & \dots & m_{\text{sc}_{1,C_2}\text{sc}_{n,C_n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{\text{sc}_{n,C_2}\text{sc}_{1,C_1}} & \dots & m_{\text{sc}_{1,C_2}\text{sc}_{n,C_1}} & 0 & \dots & 0 & m_{\text{sc}_{n,C_2}\text{sc}_{n,C_n}} & \dots & m_{\text{sc}_{n,C_2}\text{sc}_{n,C_n}} \end{matrix} \right] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \begin{matrix} \text{sc}_{1,C_n} \\ \vdots \\ \text{sc}_{n,C_n} \end{matrix} & \left[\begin{matrix} m_{\text{sc}_{1,C_n}\text{sc}_{1,C_1}} & \dots & m_{\text{sc}_{1,C_n}\text{sc}_{n,C_1}} & m_{\text{sc}_{1,C_n}\text{sc}_{1,C_2}} & \dots & m_{\text{sc}_{1,C_n}\text{sc}_{n,C_2}} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{\text{sc}_{n,C_n}\text{sc}_{1,C_1}} & \dots & m_{\text{sc}_{n,C_n}\text{sc}_{n,C_1}} & m_{\text{sc}_{n,C_n}\text{sc}_{1,C_2}} & \dots & m_{\text{sc}_{n,C_n}\text{sc}_{n,C_2}} & 0 & \dots & 0 \end{matrix} \right] \end{matrix} \quad [3.12]$$

Como a super-matriz (M) é composta apenas por vetores próprios, onde estão inseridos os pesos que resultaram das matrizes de comparação consistentes entre todos os elementos especificados na rede, as linhas que compõem M têm obrigatoriamente soma 1.

A razão pela qual os elementos que compõem a diagonal principal da super-matriz (M) são nulos é porque um elemento raramente é afetado diretamente por ele mesmo. Ou seja, diz-se

que a coluna i depende da linha j , conforme os pesos que se estimaram através das matrizes de comparação, utilizando-se um procedimento semelhante ao do AHP.

4ª Etapa – Obtenção dos pesos finais

Os resultados dos pesos finais através da metodologia ANP encontram-se na super-matriz limite (M^k), calculada de acordo com a elevação da super-matriz (M) a uma potência suficientemente grande (k).

$$\lim_{k \rightarrow \infty} M^k \quad [3.13]$$

Quando se atinge o limite, todas as linhas que compõem a super-matriz ficam iguais, com soma igual à unidade, e os únicos números que não sofrem alterações são os que são iguais a 1. Obtém-se uma matriz estacionária e permanente.

Os resultados dos pesos finais são relativos aos subcritérios e são representados por uma matriz linha, igual a qualquer linha que constitui a super-matriz limite M^k .

Pretendendo-se obter os pesos de cada um dos critérios, basta somar os pesos obtidos dos subcritérios que compõem cada um deles.

4. CASO DE ESTUDO - Porto da Praia da Vitória

4.1. Caracterização geral

Terceiras era o nome que se dava às nove ilhas do Arquipélago do Açores, pois foram as terceiras ilhas a ser descobertas no meio do Oceano Atlântico. Mas com o avançar dos anos, apenas uma passou a ser conhecida como a Ilha Terceira, integrante do “Grupo Central” do arquipélago [3].

A ilha tem um traçado elíptico com uma área superficial de 381.96 km² e com 29 km de comprimento e 17.5 km de largura máxima. A serra de Santa Bárbara, no lado oeste, tem o ponto mais alto da ilha a 1021 m acima do nível do mar. É de destacar lugares como a reserva geológica Algar do Carvão, a Caldeira Guilherme Moniz mais conhecida como a Lagoa das Patas ou da Falca, as Furnas de enxofre e ainda a Serra do Cume onde se enxergam a Praia da Vitória e as Lajes.

Sabe-se que a Ilha Terceira, também definida por Ilha de Jesus Cristo no período do seu reconhecimento pelos navegadores portugueses, iniciou o seu povoamento em meados de 1450. As primeiras povoações situavam-se nas áreas de Porto Judeu e da Praia da Vitória, e posteriormente estenderam-se por toda a ilha.

Ao longo da sua história, a ilha desempenhou um importante papel no estabelecimento e manutenção do Império Português, devido à sua localização geoestratégica em pleno Atlântico Norte.

Atualmente, a ilha dispõe de modernas infraestruturas que funcionam como principais portas de acesso à ilha e que potenciaram o seu desenvolvimento: o Aeroporto das Lajes, construído na segunda metade do século XX, a Base Aérea das Lajes (Base Aérea nr.º 4 – BA 4) e ainda o Porto Oceânico da Praia da Vitória [4].

O concelho da Praia da Vitória situa-se no sector oriental da ilha Terceira, e é limitado a sul e oeste pelo município de Angra do Heroísmo e a norte e a leste pelo Oceano Atlântico. A maior parte da paisagem do concelho encontra-se explorada pelo Homem, em atividades ligadas à agricultura ou à pecuária. O seu clima é semelhante ao restante arquipélago, sendo húmido e temperado marítimo.

A cidade tem uma baía onde é abrigado um extenso areal, o único da ilha e o mais extenso do arquipélago. Esta baía, limitada a norte pela Ponta da Má Merenda e a sul pela Ponta do Baixio, tem cerca de 2400 m de comprimento e 1100 m de largura máxima.

A baía proporciona excelentes condições para a prática de desportos náuticos, como a vela, *windsurf*, esqui aquático, motonáutica, e é o ponto de partida de excursões organizadas de barco, pesca desportiva, mergulho subaquático e observação de cetáceos [5].

A Figura 4.1 apresenta a localização do porto e da baía da Praia da Vitória.

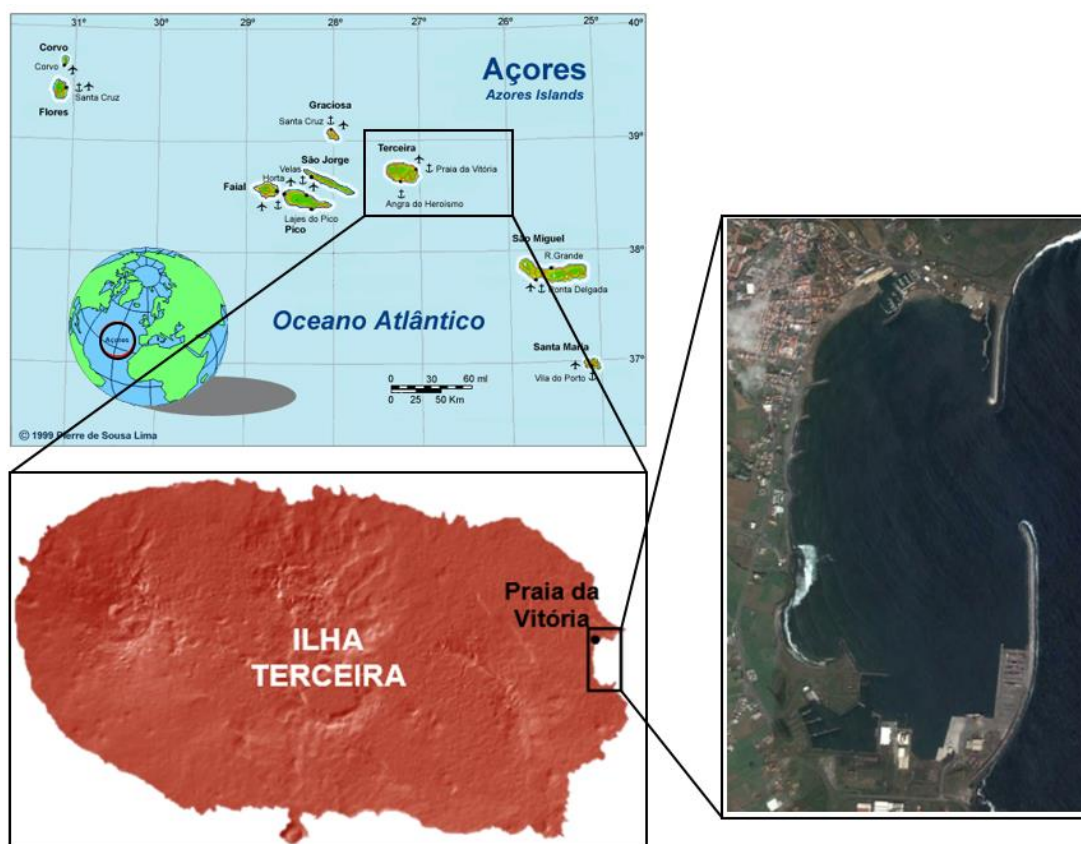


Figura 4.1 – Localização geográfica do porto da Praia da Vitória [6] [7].

No interior da baía encontra-se o porto da Praia da Vitória, protegido pelos quebra-mares norte e sul, que definem a baía já referida. A linha de costa da baía caracteriza-se pela existência de uma defesa frontal aderente, com cerca de 1 km de comprimento, e de um campo de cinco esporões na zona central enraizados na defesa frontal. Protegido a sul, tem-se o porto comercial, o porto de pesca e o terminal cimenteiro. A norte, encontra-se uma marina e o terminal acostável da Base Aérea nr.º 4 (BA 4) (Poseiro et al., 2013b).

A Figura 4.2 apresenta as estruturas do porto e a baía da Praia da Vitória.

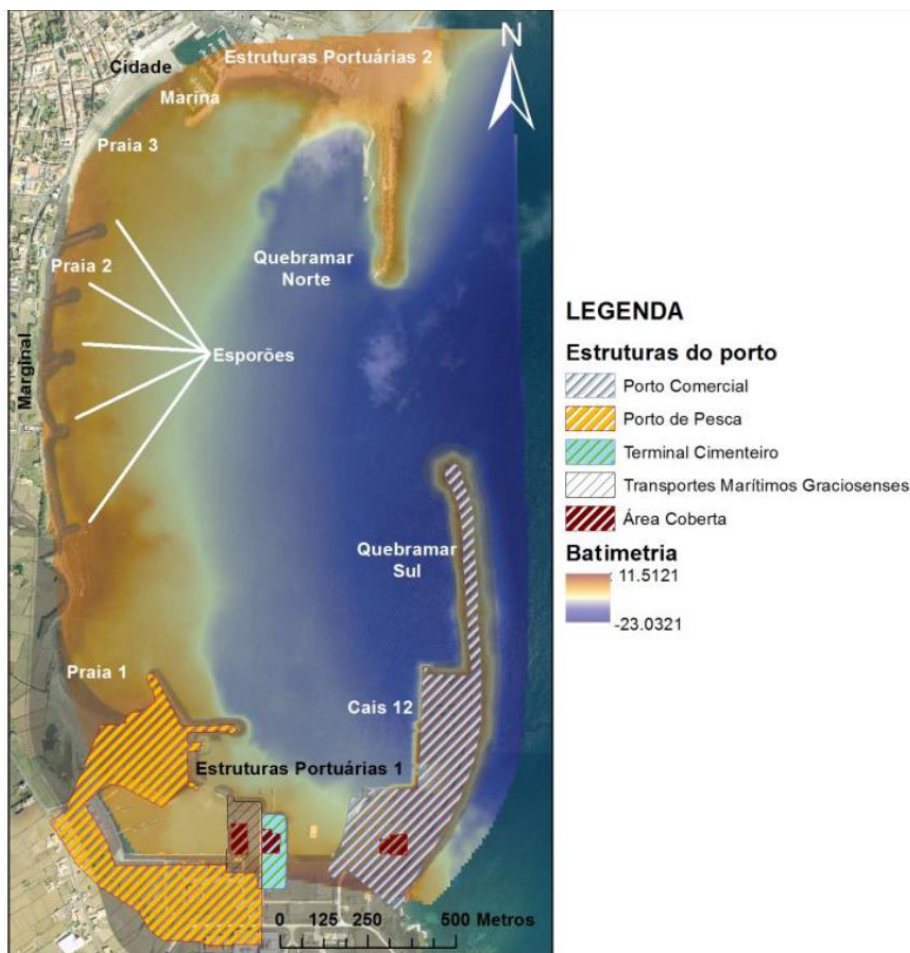


Figura 4.2 – Estruturas do porto e da baía da Praia da Vitória (Poseiro et al., 2013b).

Também existem alguns edifícios construídos em alvenaria e com dois pisos, na sua maioria, apresentados na Figura 4.3. Dizem respeito à portaria, à gare de passageiros, ao edifício polivalente e à oficina, onde trabalham no total 55 funcionários.

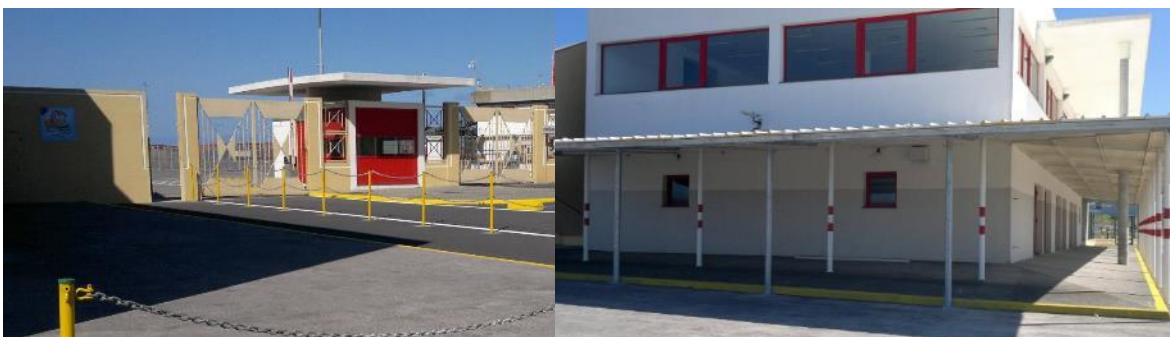


Figura 4.3 – Edifícios existentes no interior do porto da Praia da Vitória [8].

Para além das estruturas portuárias, dentro da zona portuária e entre alguns esporões, existem algumas praias estreitas (Figura 4.4), cuja largura vai diminuindo à medida que se caminha para sul. São elas [9]:

- Praínha – Situa-se a leste da Praia Grande, da qual está separada pela Marina. Em tempos, era conhecida pela Praia dos Americanos;
- Praia Grande – Situa-se entre o esporão 5 e a Marina e contém o areal mais extenso da Ilha Terceira;
- Praia dos Sargentos – Situa-se entre os esporões 4 e 5;
- Praia da Riviera – Situa-se entre o esporão 1 e a zona abrigada pelo quebra-mar sul.



Figura 4.4 – Praias existentes na baía da Praia da Vitória e identificação dos 5 esporões [10].

4.2. Caracterização das estruturas marítimas

O porto da Praia da Vitória tem capacidade para receber grandes navios e serve de plataforma de abastecimento das sete ilhas dos grupos central e ocidental. O maior navio que o porto recebeu, foi Lian Hua Hai com 48000 toneladas.

No início da década de sessenta, foi construído o quebra-mar norte, com a direção norte-sul e com 560 m de comprimento, enraizado do lado norte da baía, junto à Ponta da Má Merenda.

A sua função é dar abrigo às instalações portuárias de apoio à Base Aérea das Lajes (Estruturas Portuárias 2).

Na década de oitenta, foi construído o quebra-mar sul, com cerca de 1300 m de comprimento e com um traçado curvo, enraizado no lado sul da baía, junto ao forte de Santa Catarina. A sua função é abrigar as instalações portuárias dos sectores comercial e das pescas do porto da Praia da Vitória (Estruturas Portuárias 1).

Nos 120 m iniciais do quebra-mar, o seu manto dispunha de duas camadas resistentes de enrocamento de 120 a 150 kN com coroamento à cota de +6.9 m (ZH) e apoiava-se sobre um tapete de enrocamento de 10 a 20 kN. O restante troço do corpo da obra era protegido por um manto com tetrápodes de 300 kN, que se apoiava sobre uma banquetta com coroamento à cota de -9.8 m (ZH), com 5 m de largura e constituída por blocos de enrocamento de 60 a 90 kN. O coroamento do manto resistente situava-se à cota de +8.6 m (ZH). O perfil de rotação da cabeça era protegido por cubos Antifer de 330 kN.

As obras terminaram em 1989 e foram realizados ensaios em modelo reduzido para avaliar tanto a estabilidade do corpo da obra (ensaios bidimensionais), como a estabilidade da cabeça (ensaios tridimensionais) (Carvalho et al., 1983).

Porém, a tempestade de dezembro de 2001 destruiu parte do quebra-mar, havendo necessidade de realizar um projeto de reconstrução para o mesmo (Silva, 2011, Poseiro et al., 2013b).

Imediatamente após os trabalhos de emergência e já numa altura em que se havia começado a empreitada de reconstrução da obra, a 26 e 27 de fevereiro de 2005 houve mais um intenso temporal que destruiu novamente parte do quebra-mar [11]. Por esse motivo, no presente estudo utilizaram-se os perfis do quebra-mar do projeto inicial.

O quebra-mar sul é caracterizado por três perfis (D.O.550, D.O.1000 e D.O.1200). Apresenta-se na Figura 4.5 o perfil D.O.550 com um deflector de onda, na Figura 4.6 o perfil D.O.1000 e por fim, na Figura 4.7 o perfil D.O.1200.

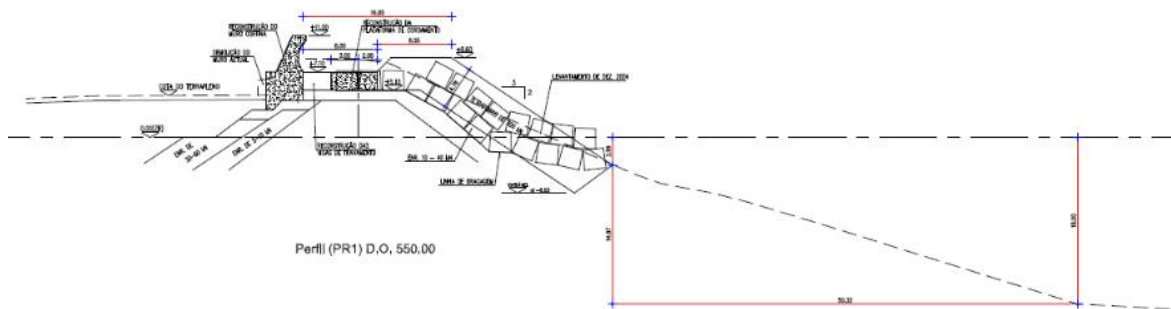


Figura 4.5 – Perfil D.O.550 do quebra-mar sul.

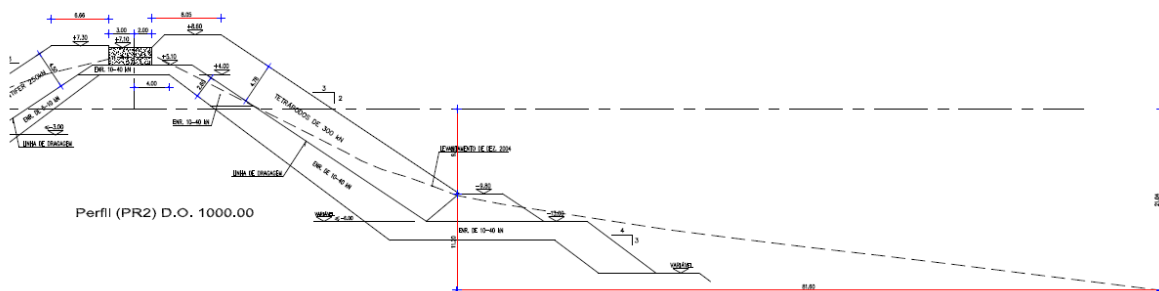


Figura 4.6 – Perfil D.O.1000 do quebra-mar sul.

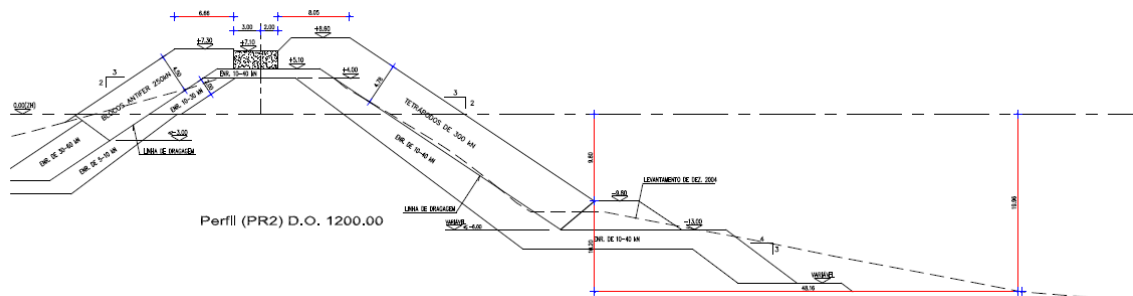


Figura 4.7 – Perfil D.O.1200 do quebra-mar sul.

A mesma tempestade também danificou o quebra-mar norte, havendo necessidade de requalifica-lo. A obra realizada concluiu a berma de proteção em torno da cabeça, executou o reperfilamento do corpo do quebra-mar, pré-fabricou os core-locs e recolocou-os, betonou a superestrutura da cabeça e colocou o farolim de aproximação do porto. O perfil é constituído por blocos core-locs, como é apresentado na Figura 4.8.

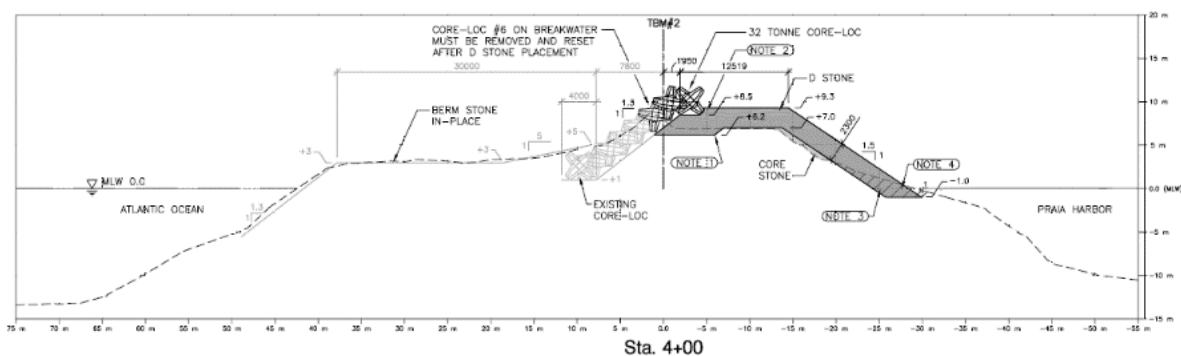


Figura 4.8 – Perfil-tipo do quebra-mar norte (cotas referidas ao MLW).

A Figura 4.9 apresenta o estado atual de ambas as infraestruturas portuárias.



Figura 4.9 – Quebra-mares norte e sul do porto da Praia da Vitória [12].

Sendo a maior infraestrutura portuária dos Açores e a segunda maior no que toca ao movimento de navios e de mercadorias (sendo a primeira o porto de Ponta Delgada), o porto da Praia da Vitória é composto por vários cais e estruturas de atracagem que permitem realizar todas as manobras de trabalho e de abastecimento de água, eletricidade e combustível.

O porto comercial é apresentado na Figura 4.10 e é composto por (Neves et al., 2012):

- Cais 7 – 150 m de cais com fundos à cota -7 m (ZH) podendo operar navios até 120 m;
- Cais 10 – 200 m de cais com fundos à cota -10 m (ZH) podendo operar navios até 150 m;
- Cais 12 – 315 m de cais com fundos à cota -12 m (ZH) podendo operar navios até 270 m. Neste cais encontram-se duas gruas, Gottwald e Grove 5180, com capacidade de carga de 100 e 180 toneladas, respetivamente.



Figura 4.10 – Porto comercial da Praia da Vitória (Neves et al., 2012).

O terminal cimenteiro, Figura 4.11, foi construído entre os anos de 1988 e 1990, e tem a função de receber o cimento por via marítima e expedi-lo através de um pontão dedicado ao abastecimento de dois silos de 7000 toneladas (2x3500 toneladas), onde atracam navios até 110 m com recurso a dois duques d’Alba e com um fundo à cota de -7 m (ZH). Tem uma capacidade de ensacagem de 2000 sacos por hora e uma expedição a granel de 100 toneladas por hora.

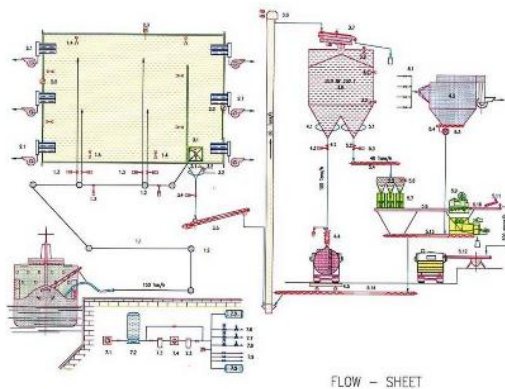


Figura 4.11 – Terminal cimenteiro da Praia da Vitória [13].

Junto a este terminal ainda existe o terminal de trasfega para o parque de combustíveis da ilha Terceira, que se situa na parte sul da bacia portuária.

Também nas suas proximidades existe o terminal pertencente à empresa Transportes Marítimos Graciosenses, Lda. que foi fundada em 1861 por João da Cunha Vasconcelos, natural da ilha Graciosa. Inicialmente a empresa dedicava-se ao transporte marítimo de carga de passageiros, mas atualmente efetua o transporte de carga paletizada, refrigerada e congelada no grupo central dos Açores. A Figura 4.12 exhibe dois navios da empresa atracados no porto da Praia da Vitória.



Figura 4.12 – Navios de carga açorianos Ponta da Barca e Espírito Santo, da empresa Transportes Marítimos Graciosenses atracados no porto da Praia da Vitória [14].

Durante muitos anos, o porto de pesca estava situado onde se encontra a atual marina da Praia da Vitória. Mas em 1927 foi construído o porto de pesca atual, como é apresentado na Figura 4.13. O desenvolvimento do porto de pesca deve-se, em grande parte, à presença Britânica e Americana na Ilha Terceira, a partir de 1943, aquando a Segunda Guerra Mundial. Com efeito, em troca da utilização da Base Aérea nr.º 4, os recursos norte-americanos financiaram parte expressiva do plano de infraestruturas da administração autonómica, nomeadamente a rede de portos e aeroportos distribuídos nas ilhas.

O porto de pesca beneficia do abrigo dado pelo porto comercial, e é servido por 345 e 230 m de cais, com profundidades de -6 e -4 m (ZH), respetivamente. Esta área também inclui as passagens e os lugares de estacionamento, as rampas para varar as embarcações artesanais e ainda as estruturas que auxiliam a reparação de navios. Em 2016, o porto adquiriu uma grua com capacidade de 5 toneladas, de modo a aumentar a produtividade e segurança dos pescadores terceirenses.



Figura 4.13 – Porto de pesca da Praia da Vitória [15].

A Marina da Praia da Vitória, Figura 4.14, foi inaugurada em 2002 e é administrada pela Câmara Municipal, estando equipada por três pontões flutuantes e dispondo de 210 postos de amarração com abastecimento de água e luz. Encontra-se protegida pelos quebra-mares

norte e sul, ambos com farolins. É uma marina visitada por iatistas de diferentes nacionalidades como franceses, alemães e britânicos.



Figura 4.14 – Marina da Praia da Vitória [16].

O cais acostável da BA 4, ou o cais dos americanos como é mais conhecido, pertence à Base Aérea 4 (BA 4) e situa-se no quebra-mar norte do porto da Praia da Vitória, como a Figura 4.15 apresenta.

A base começou a ser construída em 1934 por portugueses e despertou o interesse dos norte-americanos na década de 1940, que aí se instalaram com destacamentos da Força Aérea, da Marinha e do Exército. É de notar a sua importância estratégica para as Forças Armadas Americanas ao servir de ponto de apoio no meio do Oceano Atlântico às aeronaves que têm vindo a participar ou dar apoio às operações na Europa e no Médio Oriente.

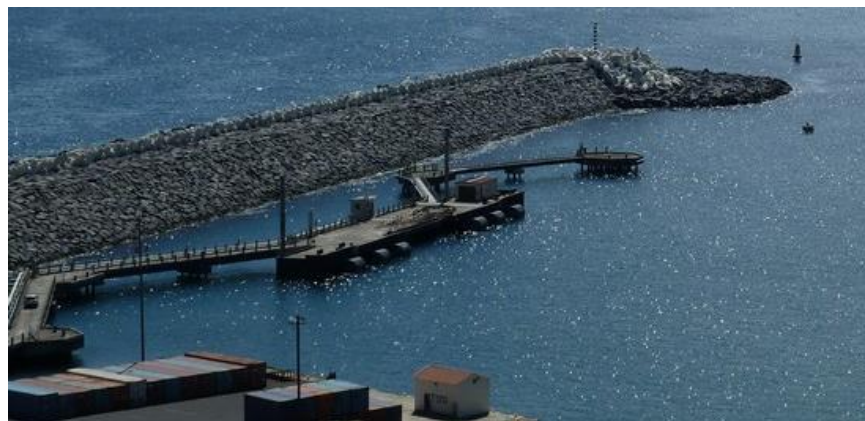


Figura 4.15 – Cais acostável da BA 4 da Praia da Vitória [12].

Para evitar a contínua erosão da linha de costa na zona central da baía, foi construída, na década de setenta, um campo de cinco esporões (numerados de 1 a 5, no sentido sul-norte) e uma defesa frontal aderente entre eles com uma extensão de 1 Km, como é apresentado na

Figura 4.16. Os esporões encontram-se na zona central da baía, em frente à abertura existente entre os quebra-mares e para além de terem comprimentos diferentes, estão orientados segundo uma direção próxima de W-SW e E-NE (Neves et al., 2012).

A Figura 4.17 e a Figura 4.18 apresentam os perfis da defesa frontal e do esporão 3, respetivamente.



Figura 4.16 – Campo de esporões da Praia da Vitória (Neves et al., 2012).

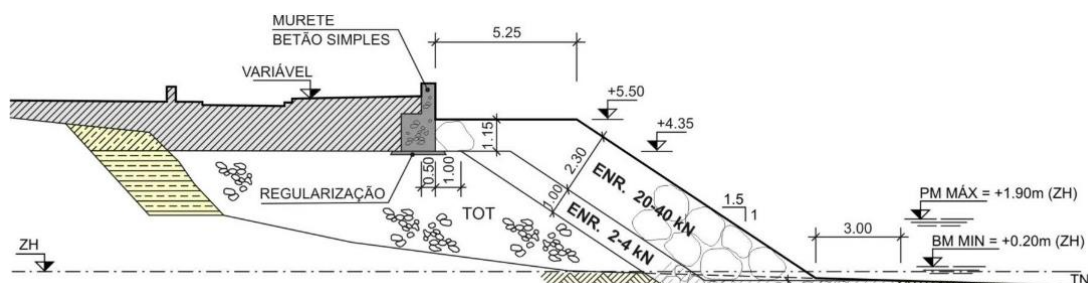


Figura 4.17 – Perfil tipo da defesa frontal.

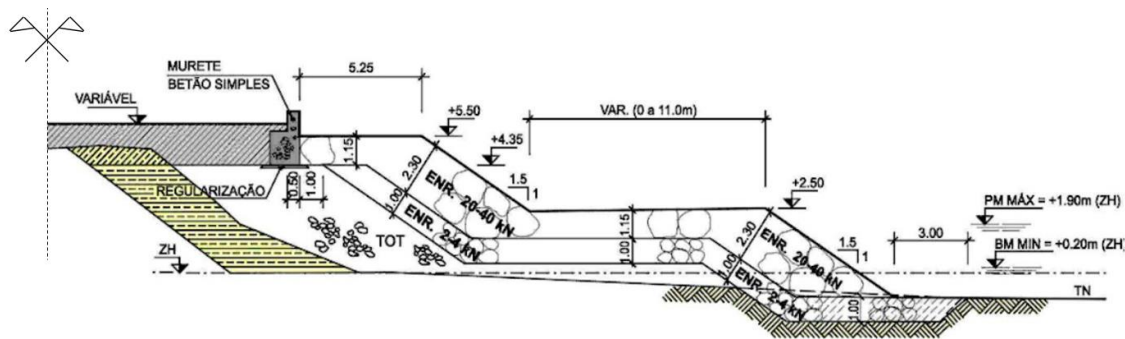


Figura 4.18 – Perfil tipo do esporão 3.

É de notar que a ocupação territorial no tardo da defesa frontal não é intensa, mas existem alguns edifícios localizados perto do mar, como é o caso do bar existente no enraizamento do esporão 3 (Figura 4.19).



Figura 4.19 – Bar situado no enraizamento do esporão 3 [17].

4.3. Aspetos sensíveis do porto

Os Açores, ao estarem localizados no meio do Atlântico Norte, são a primeira Região Europeia sujeita à influência dos sistemas frontais provenientes da América do Norte. Estes fortes temporais, que por vezes se transformam em tempestades tropicais, provocam graves danos nas infraestruturas portuárias, cujas reparações posteriores envolvem recursos elevados.

É de ter em consideração que para a agitação marítima proveniente de nordeste, este e sudeste (Figura 4.20), as infraestruturas pertencentes aos quebra-mares norte e sul, defesa frontal e esporões, ficam desprotegidas ocorrendo galgamentos não admissíveis que podem vir a danificá-las.



Figura 4.20 – Direção da agitação marítima mais desfavorável à segurança do porto da Praia da Vitória.

4.4. Eventos históricos de tempestades no porto

A região tem sido visitada por tempestades, incluindo algumas com intensidade suficiente para serem consideradas como furacões. Como tal, é de extrema importância rever os eventos de tempestades que mais tarde poderão confirmar a correta aplicação dos modelos numéricos utilizados para o cálculo da agitação marítima no porto da Praia da Vitória.

Tendo como suporte a informação dada em Garcia et al. (2016), exerceu-se uma pesquisa mais detalhada, por forma a identificar-se mais eventos de tempestades ocorridas no porto da Praia da Vitória.

Tal como já foi referido anteriormente, o temporal que ocorreu entre 20 a 26 de dezembro de 2001 (Figura 4.21) assolou a costa leste da ilha Terceira, atingindo os quebra-mares norte e sul com ventos fortes e ondas de grande altura com rumos entre NE e SE. É de notar que o quebra-mar sul tinha sido dimensionado e posteriormente construído para estados de agitação com altura significativa de 10 m ao largo e que durante a tempestade, se registaram alturas máximas de 16 m. Resultaram danos que afetaram 60% da sua extensão: destruição do manto de proteção do talude e danos em grande parte do muro-cortina, ao longo de uma extensão de 210 m [18].



Figura 4.21 – Destruição do quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória, em dezembro de 2001 (Silva, 2011).

Tendo em consideração os danos e as respectivas consequências que afetaram o setor comercial do porto, com graves prejuízos para os operadores portuários e para a economia da ilha Terceira, houve necessidade em consolidar a infraestrutura danificada, bem como proceder ao seu reordenamento e modernização. Mas logo após a ocorrência do temporal, foram levados a efeito trabalhos de emergência que tiveram por objetivo evitar o colapso total do muro-cortina, que teria consequências graves no terraplino portuário.

A 26 e 27 de fevereiro de 2005, quando já se realizava a reconstrução dos quebra-mares, ocorreu novamente uma alteração do estado do mar com ondulação significativa e que se manteve de forma consistente com altura significativa média de 6 m, atingindo uma altura máxima de 15 m, com direção de 87° ao meio dia de 27 de fevereiro (estes valores foram registados numa bóia-ondógrafo que havia sido recentemente fundeada ao largo do porto). Este fenómeno obrigou à paragem da reconstrução do quebra-mar sul que tinha sido destruído no caso anterior (Figura 4.22) e ainda danificou gravemente o quebra-mar norte (Figura 4.23).



Figura 4.22 – Temporal sobre o quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória, em fevereiro de 2005 (Silva, 2011).

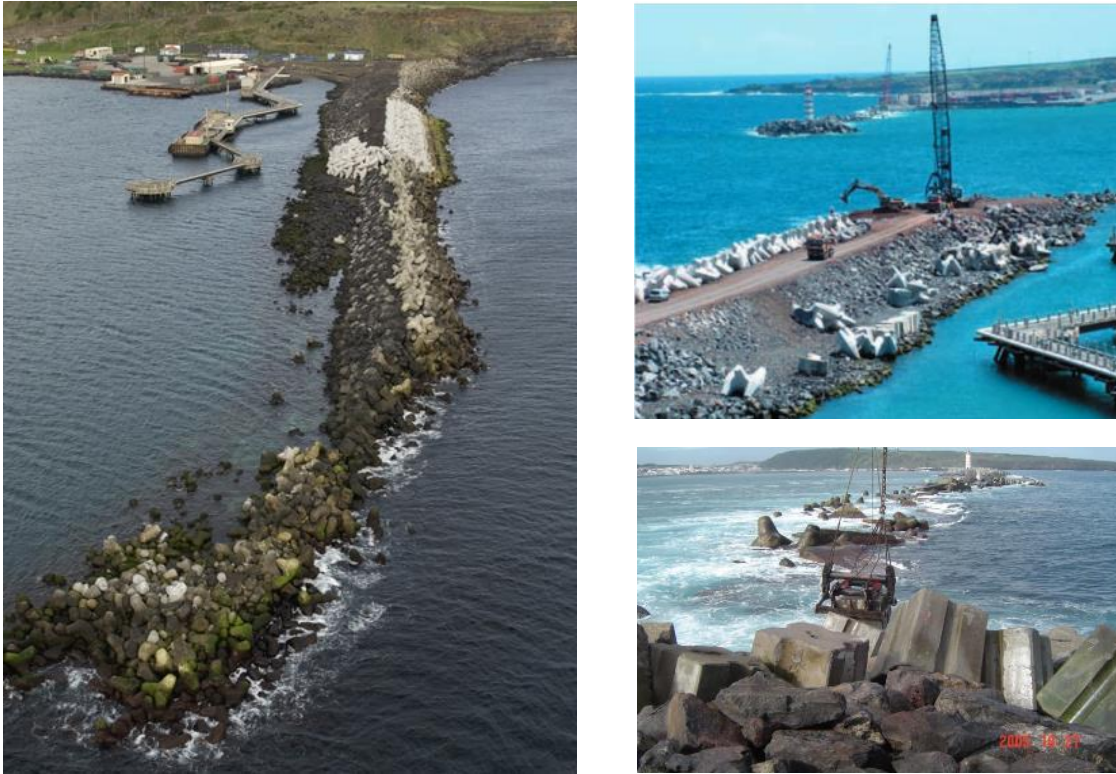


Figura 4.23 – Destruição e reconstrução do quebra-mar norte do porto da Praia da Vitória, em fevereiro de 2005 (Silva, 2011).

A realização dos trabalhos de emergência em devido tempo mostrou-se extremamente útil, na medida em que, caso esses trabalhos não tivessem sido efetuados, os estragos no terrapleno e no que restava do muro cortina teriam sido, certamente, piores e impeditivos para a operação portuária com condições mínimas.

Após as obras, o porto encontrava-se apto a acolher, em áreas distintas, os navios de carga e os navios de passageiros inter-ilhas (Figura 4.24).



Figura 4.24 – Diferença entre antes e após da reconstrução do quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória [19].

Em setembro de 2006, o furacão Gordon atravessou na zona dos Açores, mas sem deixar grandes estragos no seu rasto [20].

Outro temporal foi registado em janeiro de 2007 (Figura 4.25), onde se registaram galgamentos sobre os quebra-mares sul e norte do porto.



Figura 4.25 – Temporal sobre o quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória, em janeiro de 2007.

A 31 de dezembro de 2009, sucederam-se condições marítimas que, mais uma vez, provocaram galgamentos não só sobre os quebra-mares como sobre a defesa frontal (Figura 4.26).



Figura 4.26 – Galgamentos no quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória, em dezembro de 2009 [21].

O primeiro dia do ano de 2010 foi recebido com uma forte ondulação de nordeste, que provocou estragos nos quebra-mares interiores do porto de pesca, junto à Praia da Riviera, tendo a nova marginal da Praia da Vitória sido encerrada à circulação automóvel pois o

revestimento do passeio marítimo da defesa frontal foi deslocado para a marginal (Figura 4.27).



Figura 4.27 – Galgamentos sobre o quebra-mar sul e defesa frontal da Praia da Vitória, em janeiro de 2010 [22].

Quase um ano depois, em dezembro de 2010, a forte ondulação vinda de leste com alturas de ondas significativas de 7 m, originaram galgamentos que levaram ao cancelamento das ligações marítimas no grupo central (Figura 4.28). Apenas nas tempestades de 1992 e de 1996 ocorreu o cancelamento das ligações marítimas no grupo central.

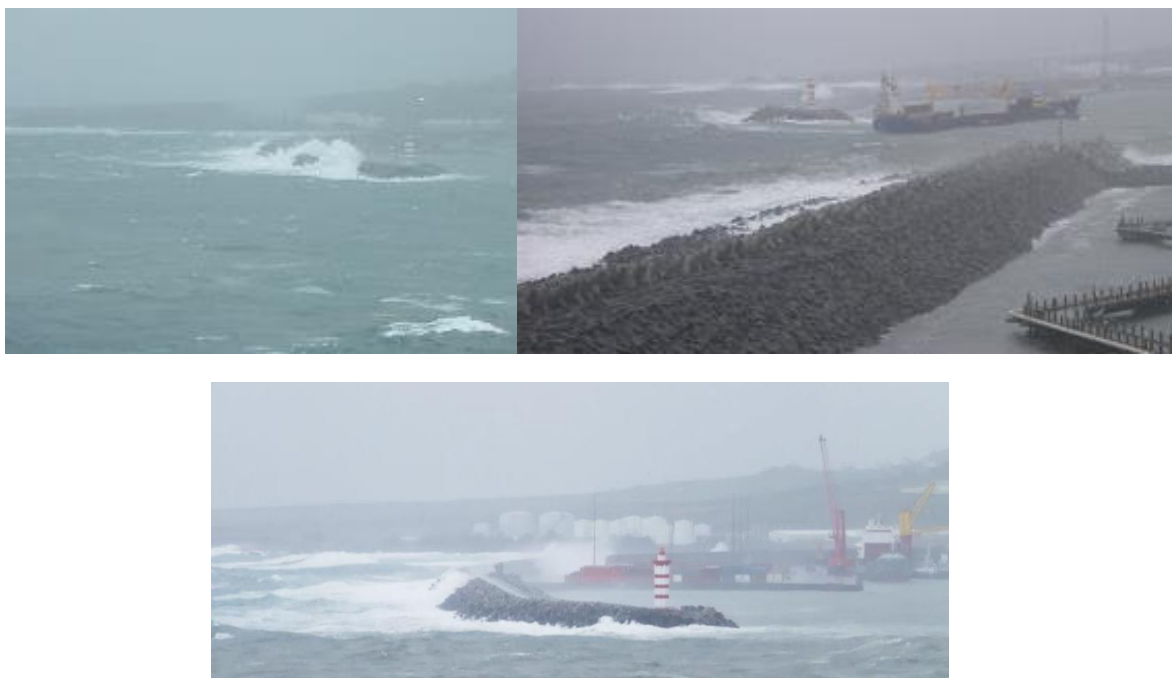


Figura 4.28 – Temporal sobre ambos os quebra-mares do porto da Praia da Vitória, em dezembro de 2010 [23] [24].

A 20 de agosto de 2012 a Praia da Vitória foi alvo do Furacão Gordon e passado um mês, o arquipélago foi intersetado pela tempestade tropical Nadine [25].

A 13 de março de 2013 (Figura 4.29), um forte temporal atingiu as ilhas Terceira e de São Miguel, existindo vítimas a lamentar. Apesar do mau tempo, o porto continuou a operar e um dos seus funcionários, durante a operação de amarração, fraturou o pulso.



Figura 4.29 – Forte tempestade sobre o quebra-mar sul, em março de 2013 [26].

Tanto em outubro (Figura 4.30) como em dezembro (Figura 4.31) do ano passado, ocorreram galgamentos de grande magnitude que acabaram por inundar a marginal da Praia da Vitória.

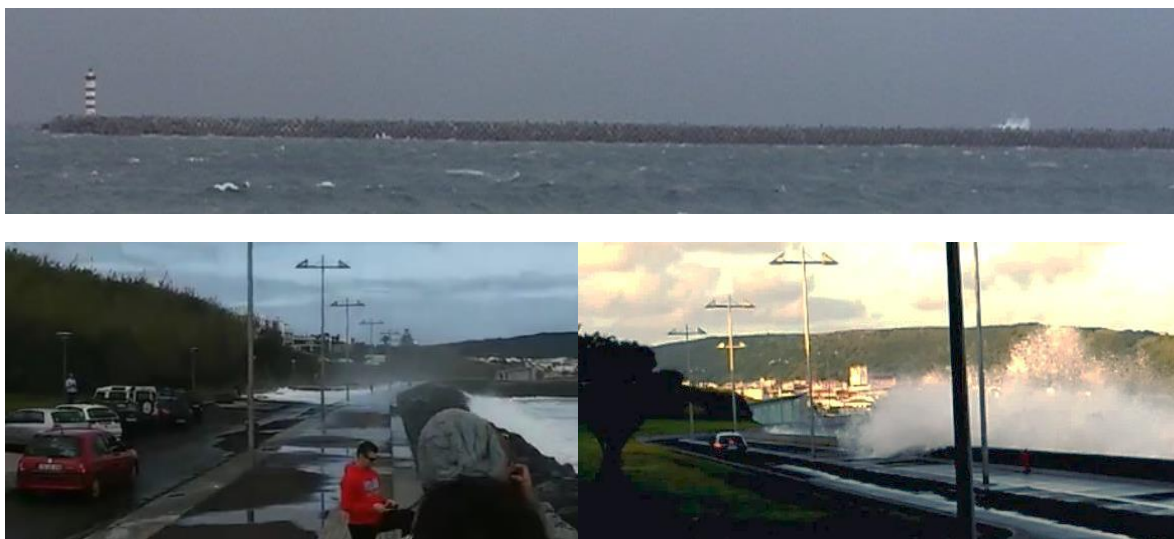


Figura 4.30 – Galgamentos no quebra-mar sul e na defesa frontal do porto da Praia da Vitória, em outubro de 2015 [27].



Figura 4.31 – Galgamentos na defesa frontal da baía da Praia da Vitória, em dezembro de 2015.

Mais recentemente, a 15 de janeiro de 2016, o Furacão Alex passou próximo da Praia da Vitória, provocando um pico na agitação marítima com uma altura significativa de 6 m, e consequentemente, galgamentos oceânicos (Figura 4.32).



Figura 4.32 – Furacão Alex na Praia da Vitória, em janeiro de 2016 [28] [29] (Garcia et al., 2016).

5. AGITAÇÃO E GALGAMENTOS

5.1. Introdução

Uma vez que se pretende avaliar o risco associado ao galgamento sobre estruturas portuárias, é necessário caracterizar a agitação incidente no trecho de cada uma das estruturas do porto cujo galgamento se pretende estimar. Para se conhecer essa agitação marítima será necessário avaliar as alterações das características da agitação marítima desde o largo (a zona onde são fornecidas as previsões à escala global) até ao trecho da estrutura de interesse.

O ponto de partida do presente estudo teve em consideração os dados disponibilizados pela ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast* [30]) que englobam as características da agitação marítima estimadas pelo WAM (Hasselmann et al., 1988) e as estimativas de ventos. A variação do nível de maré foi fornecida pelo *software* Xtide (Flutter, 1998).

Devido à vasta área a modelar e à variabilidade das profundidades da zona de estudo, recorreu-se a vários modelos numéricos de propagação de agitação marítima e posterior cálculo dos galgamentos (Figura 5.1):

- SWAN – Cálculo da agitação marítima à entrada do porto;
- DREAMS – Cálculo da agitação marítima no interior do porto;
- NN_OVERTOPPING2 – Cálculo do caudal médio galgado, a partir das características da agitação marítima junto à estrutura.

Todos os dados necessários para a aplicação dos modelos mencionados referem-se ao período temporal de 1979 a 2013 (34 anos).

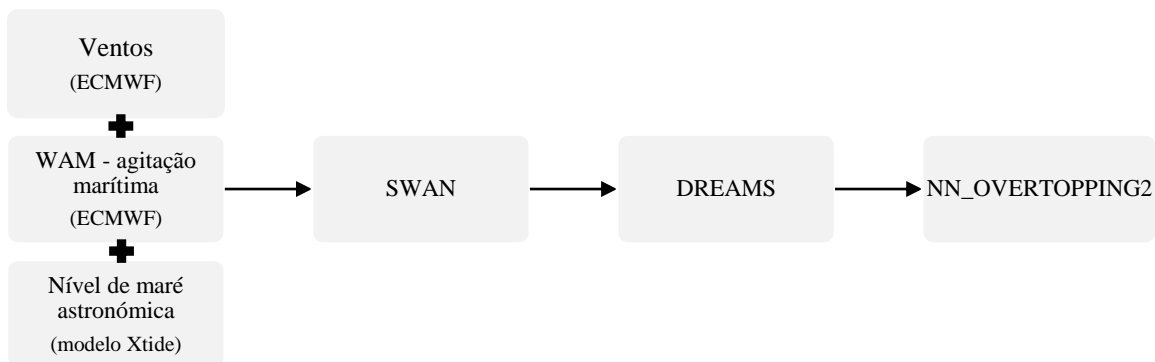


Figura 5.1 – Processo adotado na propagação da agitação marítima, desde o largo até à costa, para *input* na ferramenta NN_OVERTOPPING2.

5.2. Dados disponíveis

De acordo com o referido anteriormente, houve acesso a três tipos de dados que permitem obter a caracterização da agitação marítima ao longo dos 34 anos e no local pretendido:

- Características da agitação marítima estimadas pelo modelo WAM, da organização ECMWF;
- Estimativas de ventos, da organização ECMWF;
- Variação do nível da maré, do modelo Xtide.

Tratam-se de dados em formato *.txt*, constituídos por colunas onde está identificado a data (uma coluna para o ano, outra para o mês e outra para o dia) e as horas (intervalos de 6 horas).

No entanto, sabendo que de 6 em 6 horas a maré passa de uma baixa-mar para uma preia-mar, deveriam ser tidos em consideração intervalos de 3 horas, pelo menos.

5.2.1. Estimativas da agitação marítima do modelo WAM

O modelo WAM (Hasselmann et al., 1988) é um modelo numérico de terceira geração que fornece estimativas da agitação marítima pela organização ECMWF.

ECMWF é uma organização internacional, localizada no Reino Unido e apoiada por 31 estados membros. Tem como objetivos recolher e armazenar os dados meteorológicos, desenvolver métodos numéricos para tratamento destes mesmos dados de forma a atingir-se a melhoria dos métodos numéricos e das previsões. Para além disso, o ECMWF disponibiliza todos os seus dados em extensos arquivos para organismos externos.

Diferencia-se dos modelos de segunda geração por permitir a modelação da refração e deformação do campo de ondas, provocadas pelas variações espaciais e temporais da profundidade média e das correntes médias. Deste modo, a ação do vento, as interações não lineares de ressonância, a dissipação e o atrito de fundo, possibilitam a geração e decaimento das ondas.

O presente modelo não é aplicável para águas pouco profundas, pois não tem em consideração situações em que a propagação das ondas se encontra limitada pela profundidade (zonas de rebentação).

Na presente dissertação, não se aplicou o modelo, mas utilizaram-se os seus resultados para o local de estudo: altura significativa (H_s), direção (θ) e o período de pico da onda (T_p),

permitindo a previsão da agitação marítima ao largo para cada 6 horas. Obtém-se um ficheiro de resultados em formato *.txt*, com uma coluna para a data e outras para a hora, minutos e segundos, bem como cada um dos parâmetros referidos anteriormente.

O Quadro 5.1 apresenta uma análise estatística dos resultados fornecidos pelo modelo WAM e a Figura 5.2, a Figura 5.3 e a Figura 5.4 apresentam as séries temporais dos mesmos parâmetros: altura significativa, período de pico e direção da onda. A junção destes dados com o campo de ventos e nível de maré constituem o *input* do modelo SWAN.

Para o período de 34 anos analisado, a altura significativa ao largo varia entre 0.59 e 9.51 m, o período de pico varia entre 5.1 e 16.2 s e a direção média ao longo dos 360°. Especificando, cerca de 20.3% dos valores analisados constam no intervalo abaixo dos 90°, 4.29% dos valores estão compreendidos entre 90° e 180°, 16.82% dos valores estão compreendidos entre 180° e 270° e por último, 58.59% dos valores constam acima dos 270°. Assim, a direção de onda predominante corresponde ao quadrante definido entre norte e oeste.

Quadro 5.1 – Análise estatística referente aos resultados obtidos com o modelo WAM para o porto ao largo.

	Hs [m]	 Tp [s]	 θ [°]
Média	2.25	8.9	236.8
Mediana	2.01	8.7	284.0
Moda	1.28	8.4	300.0
Desvio-padrão	1.04	1.5	111.0
Mínimo	0.59	5.1	0.0
Máximo	9.51	16.2	360.0
Contagem	51132	51132	51132

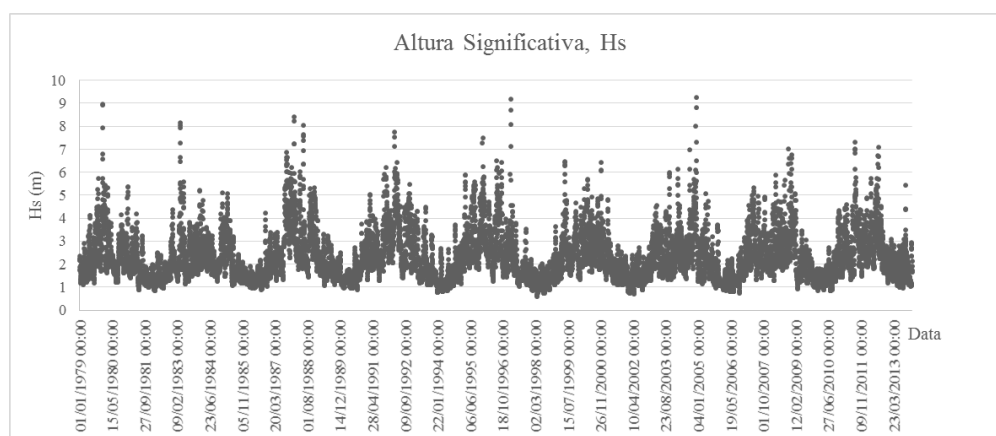


Figura 5.2 – Altura significativa (Hs) calculada pelo WAM, para o período de 1979 a 2013.

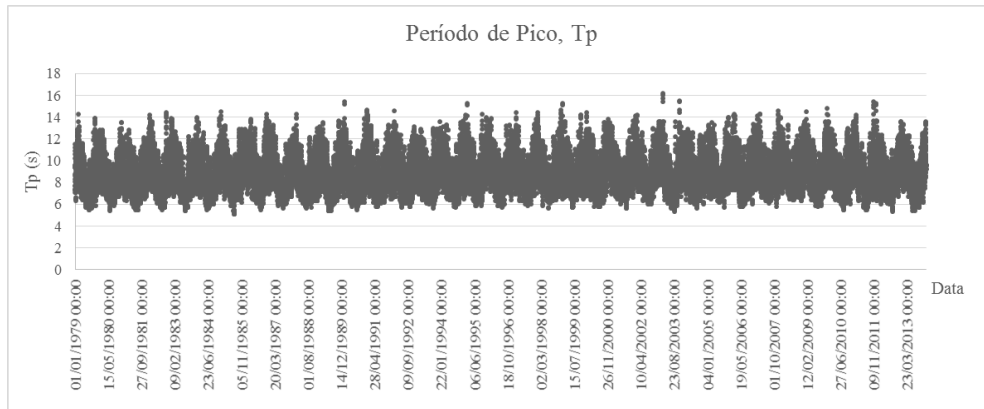


Figura 5.3 – Período de pico (T_p) calculado pelo WAM, para o período de 1979 a 2013.

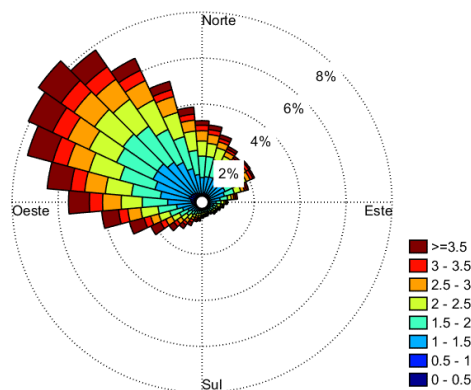


Figura 5.4 – Direção de onda (Θ) calculada pelo WAM, para o período de 1979 a 2013.

5.2.2. Campo de ventos

A inclusão do vento tem a finalidade de aproximar os resultados obtidos o mais possível da realidade da zona de estudo. Por isso, a inclusão do vento é muito importante:

- Na transferência de energia para as ondas;
- Na sua influência a circulação hidrodinâmica na zona de estudo através da geração de correntes induzidas pela ação direta do vento sobre a superfície livre ou de sobrelevação do nível médio.

Os dados referentes ao campo de ventos também são provenientes da organização ECMWF. Os ficheiros de ventos têm uma estrutura simples com formato *.txt*, um para cada período de 6 horas, ao longo dos 34 anos de estudo.

5.2.3. Nível de maré

O conhecimento da variação do nível de maré permite melhorar a caracterização da agitação marítima, ao longo do período de análise. É conhecido que o aumento do nível de maré induz provavelmente uma maior probabilidade de ocorrência de galgamentos. Assim, a utilização da variação do nível de maré melhora a confiança na previsão de situações em que seja necessário implementar medidas de segurança.

É de notar que todos os níveis de maré (NM) se encontram referidos ao zero hidrográfico (ZH), definido para cada zona portuária. O ZH corresponde a um plano de referência hidrográfico de uma zona de estudo, ou seja, trata-se de uma superfície em relação à qual são referenciadas as sondas e as linhas iso batimétricas das cartas náuticas, bem como as previsões de altura de maré publicadas nas Tabelas de Maré do Instituto Hidrográfico.

Em Portugal continental, o ZH é definido pelo nível da mais baixa das marés baixas registadas durante um dado período (normalmente anos), em relação ao nível médio do mar (2.0 metros). Com efeito, o nível de maré altera-se de local para local e no Arquipélago dos Açores, em Angra do Heroísmo, o ZH é definido por 1 metro abaixo do NM, e na Praia da Vitória por 1.1 m abaixo do NM (Instituto Hidrográfico, 2016).

No intervalo de tempo ilustrado na Figura 5.5, o nível de maré em relação ao plano do zero hidrográfico (ZH) varia entre 0.58 e 2.25 m. Por outro lado, a Figura 5.6 apresenta apenas a variação do nível de maré do último ano de análise, 2013 (dados obtidos pelo software Xtide, Flatter, 1998).

Os dados adquiridos foram simplificados para um intervalo de seis em seis horas, correspondente ao intervalo em que se têm disponíveis os dados do WAM.

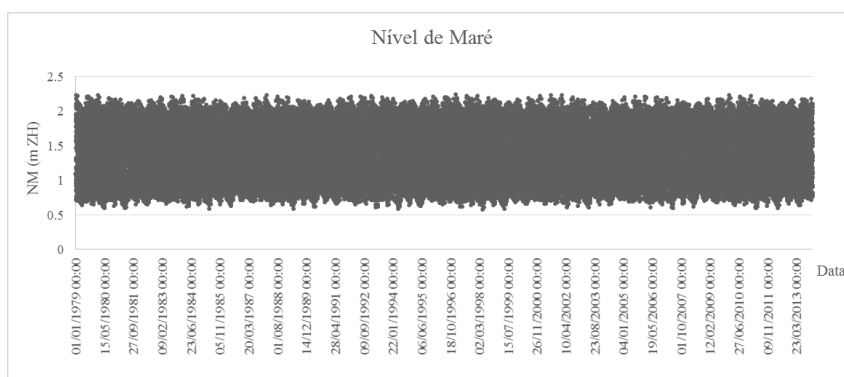


Figura 5.5 – Variação da maré nos 34 anos considerados (de 1979 a 2013).

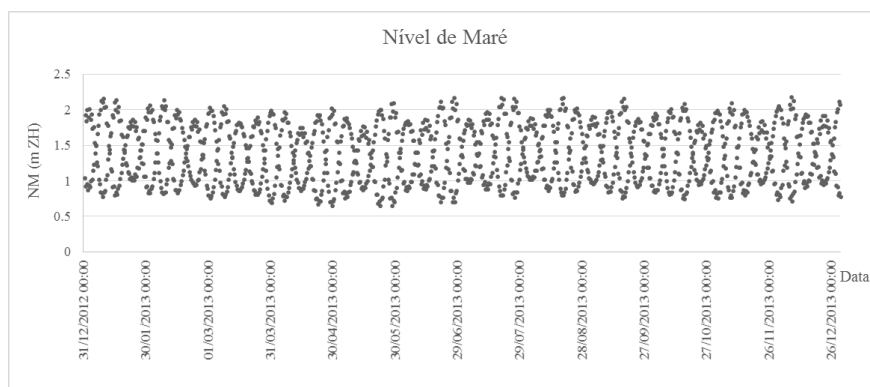


Figura 5.6 – Variação da maré no último ano de análise, 2013.

5.3. Aplicação do modelo SWAN

5.3.1. Introdução

O modelo SWAN (Booij et al., 1999 e SWAN team, 2006), *Simulating Waves Nearshore*, é um modelo numérico (não linear) espectral de ondas de superfície do mar, que tem como base a equação para a conservação da ação de onda. Esta equação permite a geração de ondas por vento e a sua propagação, considerando vários fenómenos intervenientes nessa propagação: a refração, a rebentação, a difração (de forma aproximada), a geração de harmónicas (interação não linear entre ondas).

A equação atrás referida é adequada para grandes áreas costeiras, uma vez que contabiliza: processos físicos de refração, difração e empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes, crescimento de onda por ação do vento, rebentação por influência do fundo e por “excesso” de declividade, dissipação de energia devido ao atrito de fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos.

O mesmo, ainda calcula a evolução das ondas provocadas pelo vento, em regiões costeiras, com águas pouco profundas e na presença de correntes.

Trata-se de um modelo de domínio público (*freeware*), em constante desenvolvimento pela *Delft University of Technology*, da Holanda, sendo a atualização da versão disponibilizada (usualmente mais robusta e completa que a anterior) assegurada pela mesma universidade.

Os dados necessários para a execução do SWAN são: a malha batimétrica da zona a modelar, as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio de cálculo ou, alternativamente,

o campo de ventos para o forçamento da geração de ondas e os fenómenos físicos a ter em conta.

Como resultados, para além de permitir a geração de ondas e previsão da agitação marítima, calcula a evolução do espectro direcional desde a zona de geração até à zona costeira, obtendo-se os parâmetros da agitação marítima característicos dos locais de interesse.

Como qualquer modelo, este possui limitações na correta representação de um estado de agitação, que são devidas, quer à formulação teórica em que o modelo se baseia, quer ao esquema numérico utilizado. Relativamente à formulação teórica, a principal limitação está relacionada com a calibração dos parâmetros envolvidos na descrição dos diferentes fenómenos físicos.

5.3.2. Análise de resultados

Foi utilizada uma interface gráfica em Microsoft Access para criar os ficheiros de dados para o modelo SWAN, desenvolvida por Pinheiro et al. (2007), e o seu procedimento de execução encontra-se no Anexo A.

Os resultados do modelo SWAN para o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2013 foram obtidos para três pontos P1, P2 e P3 (Quadro 5.2 e Figura 5.7). No entanto, apenas os resultados correspondentes ao ponto P1 foram analisados, pois trata-se do ponto que se encontra mais próximo da entrada do porto.

Quadro 5.2 – Pontos utilizados no SWAN.

Pontos SWAN	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Cota (m ZH)
P1	495530	4286288	19.40
P2	496098	4286325	37.29
P3	498580	4289218	-99.00

No quadro anterior, a cota referente ao ponto P3 tem sinal negativo, pois trata-se de um ponto ao largo, cuja profundidade é muito superior às outras e com efeito, a sua cota é desconhecida.

A Figura 5.7 apresenta as 3 grelhas computacionais consideradas pelo SWAN, com dimensões diferentes.

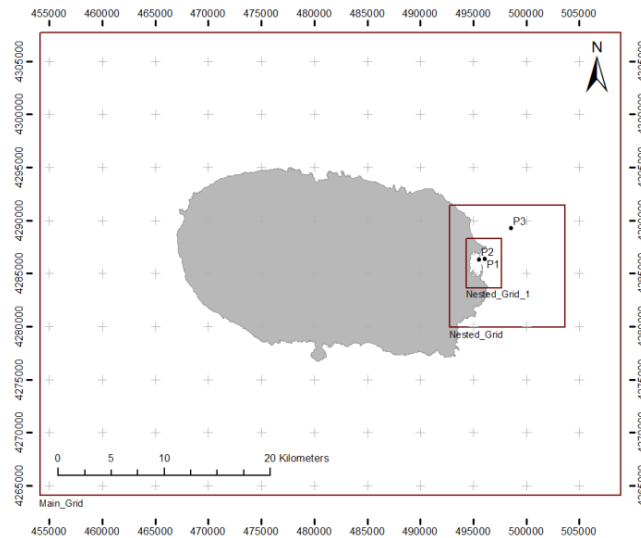


Figura 5.7 – Malhas computacionais do SWAN e indicação dos seus pontos de cálculo.

O Quadro 5.3 apresenta a análise estatística realizada aos resultados dos parâmetros de agitação marítima no ponto P1 (altura significativa, períodos médio e de pico, direções média e de pico) para o período em análise.

Quadro 5.3 – Análise estatística dos resultados obtidos com o modelo SWAN para o ponto P1.

	Hs [m]	Tm [s]	Tp [s]	θm [°]	θp [°]
Média	0.55	6.3	9.9	78.3	76.9
Mediana	0.33	5.9	10.1	59.8	52.5
Moda	0.26	2.0	10.1	59.6	52.5
Desvio-padrão	0.60	3.4	3.2	36.9	43.9
Mínimo	0.01	1.5	2.0	16.9	22.5
Máximo	6.54	18.6	20.4	353.3	277.5
Contagem	51132	51132	51132	51132	51132

Efetua-se de seguida uma análise mais pormenorizada destes resultados. A Figura 5.8 apresenta a comparação entre as alturas significativas obtidas pelos modelos WAM e SWAN, a Figura 5.9 apresenta a comparação entre os períodos de pico obtidos pelos mesmo modelos. A Figura 5.10 apresenta as direções de onda obtidas pelo modelo SWAN no ponto P1.

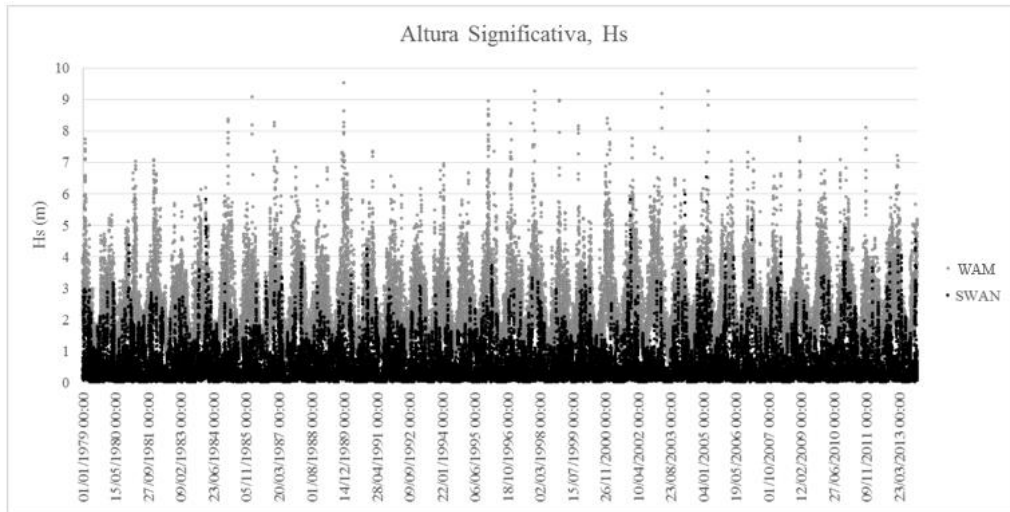


Figura 5.8 – Comparação dos valores de Hs fornecidos ao largo pelo modelo WAM e obtidos pelo modelo SWAN.

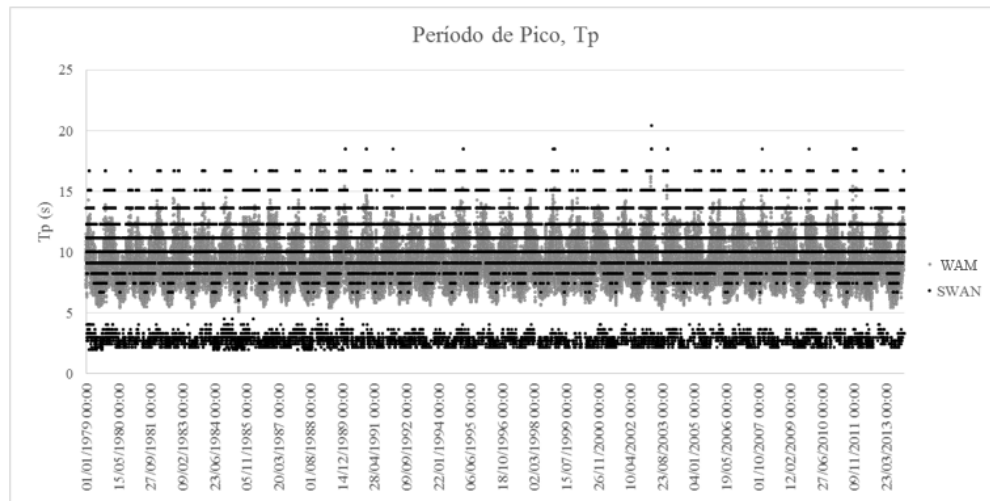


Figura 5.9 – Comparação dos valores de Tp fornecidos ao largo pelo modelo WAM e obtidos pelo modelo SWAN.

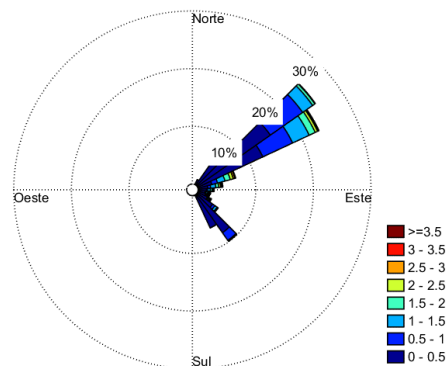


Figura 5.10 – Rosa das direções com a representação da intensidade no ponto P1 do modelo SWAN.

Da análise de todos os elementos, verifica-se que:

- Devido à refração, a altura significativa (H_s) diminui de forma considerável desde a posição analisada ao largo até ao ponto P1 na entrada do porto;
- A maior altura significativa tem o valor de 6.54 m e ocorreu em março de 1984;
- Uma rotação significativa da direção da onda (θ) devido à orientação da baía da Praia da Vitória a este, fazendo com que a direção de onda tendo a ficar perpendicular às batimétricas do local;
- As direções de onda predominam no quadrante compreendido entre norte e este;
- Não acontecem grandes alterações relativamente ao período das ondas.

Os restantes gráficos de estudo e análise de resultados relativamente ao modelo SWAN encontram-se no Anexo B.

5.4. Aplicação do modelo DREAMS

5.4.1. Introdução

O modelo numérico, DREAMS (Fortes, 1993) simula a propagação e deformação de ondas marítimas lineares em zonas de fundos de inclinação suave. O modelo pode ser aplicado ao estudo, quer da penetração num porto da agitação marítima de período curto, quer da ressonância de uma bacia portuária por ondas de longo período.

O modelo tem como base a equação elíptica de declive suave, que descreve os efeitos combinados dos fenómenos de refração (modificação da velocidade e da direção de propagação da onda) e difração (redistribuição da energia ao longo das cristas) de ondas monocromáticas, aquando da sua propagação em fundos de inclinação suave (portos, marinas, baías e zonas costeiras). Para resolver a equação de declive suave, recorreu-se ao Método de Elementos Finitos (MEF) (Fortes, 2002).

As condições de fronteira implementadas no DREAMS são: condição de radiação, que permite a saída das ondas geradas no domínio; condição de geração e radiação combinadas, que simula a entrada e saída de ondas numa fronteira do domínio (por exemplo, nas fronteiras abertas); condição de reflexão (total ou parcial), que simula fronteiras como praias, falésias, quebra-mares ou obras acostáveis.

Os dados a fornecer ao modelo DREAMS são as características da agitação marítima incidente (altura, período e direção da onda), o nível de maré, os coeficientes de reflexão em cada troço da fronteira do domínio de cálculo, a batimetria e as características da malha de elementos finitos com que foi discretizado o domínio em estudo (Fortes, 2002).

Como resultados do modelo, obtém-se o índice de agitação H / H_0 (relação entre a altura de onda no ponto do domínio de cálculo, H , e a altura de onda à entrada do domínio de cálculo, H_0) e as direções de propagação de onda. Ainda como resultados opcionais, é possível obter o campo de velocidades horizontais na superfície livre e as cristas das ondas (linhas de igual fase) (Fortes, 2002).

Como a maioria dos modelos numéricos, este apresenta limitações: não tem em conta os efeitos da rebentação das ondas, da presença de correntes, nem de eventuais galgamentos das obras de abrigo.

No presente estudo, utilizou-se a malha de elementos finitos criada no LNEC para o anterior estudo (Poseiro et al., 2013c). O DREAMS considera uma malha irregular de pontos que cobrem a baía do porto da Praia da Vitória, designada por DREAMS Grid (Figura 5.11, retângulo vermelho).

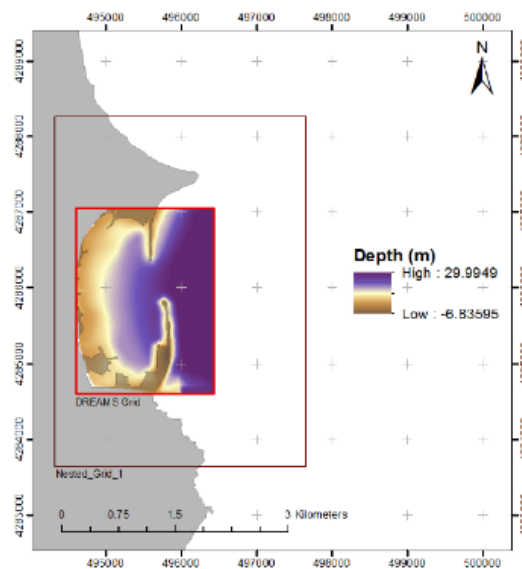


Figura 5.11 – Batimetria do modelo DREAMS (Poseiro, 2013c).

Apesar do modelo fornecer resultados para todos os nós da malha, foram selecionados estrategicamente 10 pontos (D1 – D10) em frente às principais estruturas do porto e baía da Praia da Vitória (Figura 5.12).

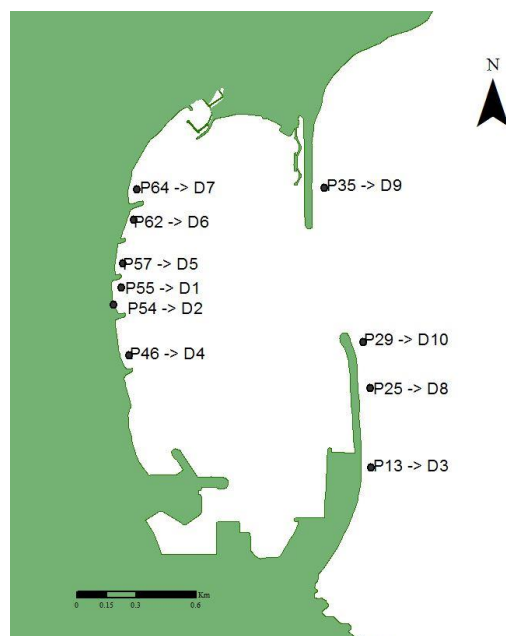


Figura 5.12 – Identificação dos dez pontos (D1 – D10) analisados no modelo DREAMS.

A seleção dos pontos a estudar dependeu fundamentalmente da análise que se pretende fazer. Uma vez que no caso de estudo se pretende avaliar o risco de galgamento/inundação no porto e baía da Praia da Vitória, os 10 pontos escolhidos correspondem a zonas onde os galgamentos podem colocar em risco a população, bens e serviços (Quadro 5.4).

Quadro 5.4 – Pontos utilizados no DREAMS.

Pontos DREAMS	Pontos considerados	Identificação do local	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Cota (m ZH)
P55	D1	Defesa frontal	38.666284	1478.45656	1.284
P54	D2	Defesa frontal	14.207957	1439.829772	1.561
P13	D3	Quebra-mar sul	1307.053966	472.267617	11.048
P46	D4	Defesa frontal	58.049208	1131.456652	2.534
P57	D5	Defesa frontal	35.414588	1574.532798	1.175
P62	D6	Defesa frontal	78.040003	1785.199035	1.122
P64	D7	Defesa frontal	106.883642	1926.889277	0.719
P25	D8	Quebra-mar sul	1337.249241	939.73861	16.078
P35	D9	Quebra-mar norte	1057.890361	1965.197267	9.028
P29	D10	Quebra-mar sul	1280.373506	1158.577189	12.959

5.4.2. Análise de resultados

Foi utilizada uma interface gráfica em Microsoft Access para criar os ficheiros de dados para o modelo DREAMS, desenvolvida por Pinheiro et al. (2007), e o seu procedimento de execução encontra-se no Anexo C.

Os resultados do modelo DREAMS para o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2013 foram obtidos para os dez pontos referidos. No entanto, para cada ponto de estudo, não foram transferidos todos os valores do modelo SWAN para o modelo DREAMS. Isto deve-se pelo DREAMS utilizar uma grelha com valores admissíveis e os valores que não foram transferidos de um modelo para o outro, não constam nela.

O Quadro 5.5 apresenta a análise estatística realizada aos resultados do parâmetro da altura significativa (H_s), e o Quadro 5.6 apresenta a análise estatística realizada aos resultados do período médio (T_m) nos dez pontos de estudo, para o período em análise.

Quadro 5.5 – Análise estatística dos valores do parâmetro H_s nos dez pontos, obtidos com o modelo DREAMS.

	Hs									
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Média	0.28	0.34	0.56	0.35	0.27	0.22	0.18	0.59	0.45	0.55
Mediana	0.13	0.15	0.35	0.15	0.11	0.09	0.07	0.38	0.17	0.38
Moda	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.02
Desvio-padrão	0.41	0.49	0.61	0.50	0.44	0.37	0.33	0.60	0.58	0.55
Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Máximo	4.64	6.05	7.55	5.99	6.03	4.69	4.71	6.20	5.68	6.66
Contagem	27387	27387	23763	27387	27387	27387	27387	23074	26121	24127

Quadro 5.6 – Análise estatística dos valores do parâmetro T_m nos dez pontos, obtidos com o modelo DREAMS.

	Tm D1 a D10
Média	7.6
Mediana	6.8
Moda	5.5
Desvio-padrão	2.8
Mínimo	4.0
Máximo	18.2
Contagem	27386

A Figura 5.13 e a Figura 5.14 apresentam as séries temporais dos valores de H_s fornecidos pelo modelo DREAMS para os pontos na defesa frontal e nos quebra-mares norte e sul, respectivamente. Além destes, a Figura 5.15 apresenta a série temporal do período médio (T_m) que é igual nos dez pontos de análise e ao ponto P1 do SWAN. Por fim, a Figura 5.16 apresenta as direções médias nos dez pontos.

Assim, os valores de H_s são influenciados pelo fundo, devido à rebentação das ondas.

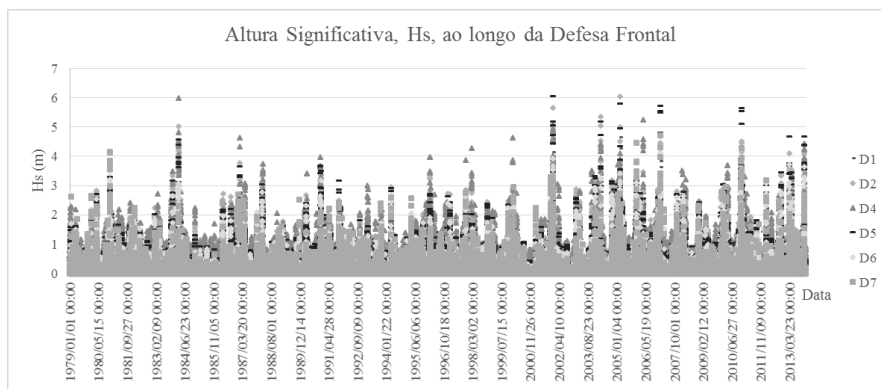


Figura 5.13 – Comparação dos valores de H_s fornecidos pelo modelo DREAMS, nos pontos em frente à defesa frontal.

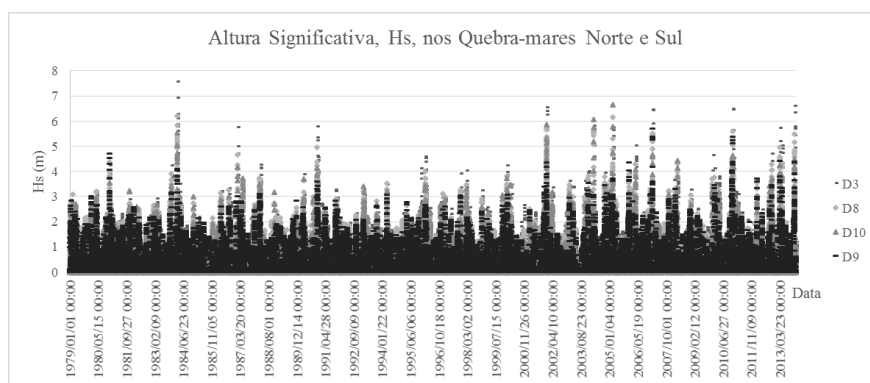


Figura 5.14 – Comparação dos valores de H_s fornecidos pelo modelo DREAMS nos pontos junto aos quebra-mares norte e sul.

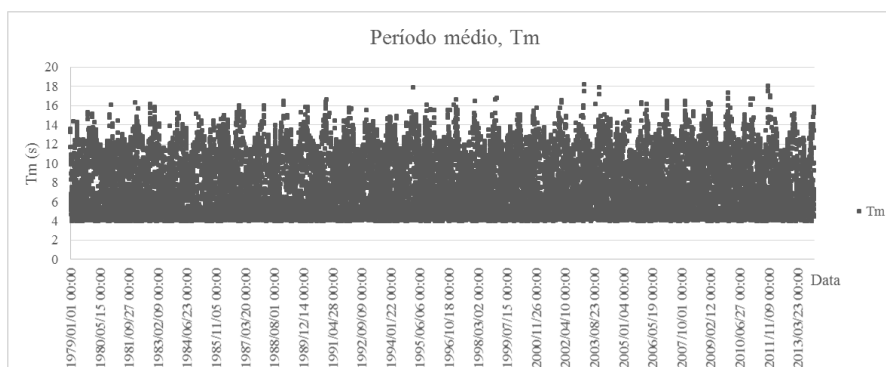


Figura 5.15 – Período médio (T_m) calculado pelo modelo DREAMS para os dez pontos de análise.

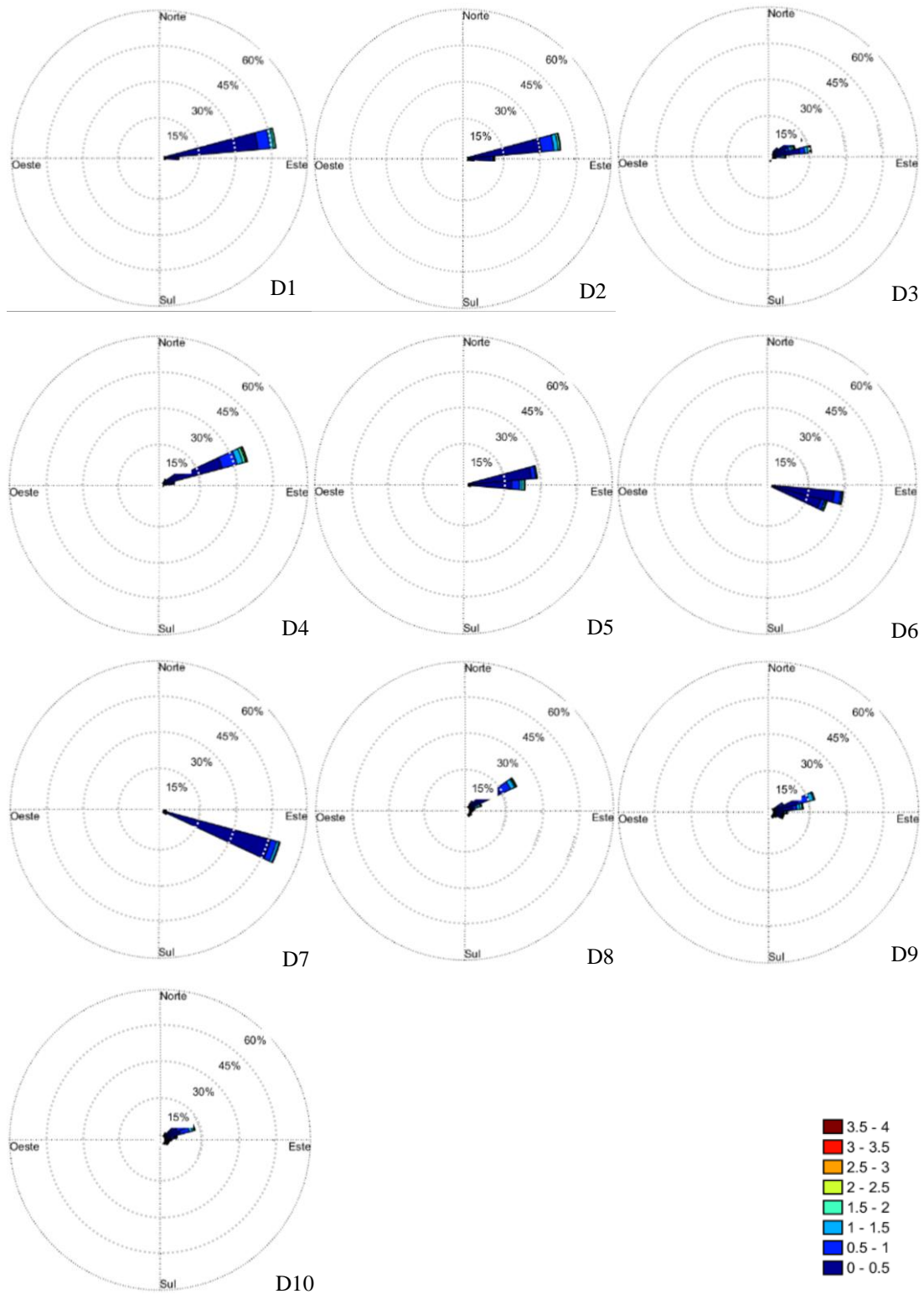


Figura 5.16 – Rosa das direções com a representação da intensidade nos pontos D1 a D10 do modelo DREAMS.

Da análise dos resultados obtidos, verifica-se que:

- Devido aos fenómenos de refração e de difração, a altura significativa diminui em todos os pontos interiores, comparativamente com os resultados obtidos pelo modelo SWAN; no entanto, os pontos exteriores ao porto mantêm valores elevados, devido à profundidade aí ser semelhante ao existente na vizinhança do ponto P1;
- Os pontos que se encontram mais desprotegidos (D3, D8 e D10) situados nos quebra-mares norte e sul, apresentam valores de altura significativa maiores e direções de onda vindas predominantemente de nordeste;
- O ponto D1 é o mais protegido de todos, estando guardado pelos quebra-mares e pelo esporão 2, pelo que as alturas significativas são menores e a direção de onda vem de nordeste;
- Os pontos D2, D4 e D5 encontram-se na defesa frontal, mas mesmo assim, não estão muito protegidos da agitação marítima, contendo valores de altura significativa altos e direções de onda vindas de nordeste;
- Os pontos D6 e D7, devido à sua localização, encontram-se mais protegidos da agitação marítima, e apresentam valores de altura significativa menores com direções vindas de sudeste;
- Não há registo de grandes alterações do parâmetro direção de onda, quando comparado com os resultados do SWAN, vindo predominantemente de nordeste (com a exceção dos pontos D6 e D7, tal como já foi referido);
- A maior altura significativa tem o valor de 7.55 m, no ponto D3, em março de 1984, tal como com os resultados obtidos pelo SWAN;

Os restantes gráficos com resultados relativamente ao modelo DREAMS encontram-se no Anexo D.

5.5. Aplicação da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2

5.5.1.Introdução

A ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 (Coeveld et al., 2005), desenvolvida pela *Delft Hydraulics* no âmbito do projeto CLASH, permite prever o caudal médio galgado a partir dos resultados de 700 redes neuronais criadas com apoio em 8400 combinações de *input/output*, provenientes de dados de campo e de ensaios em modelo físico reduzido, e

aplicável para diversas características de agitação e diferentes geometrias de estruturas (Figura 5.17). A utilização da ferramenta apoia-se num manual, onde são fornecidas orientações sobre o uso da mesma.

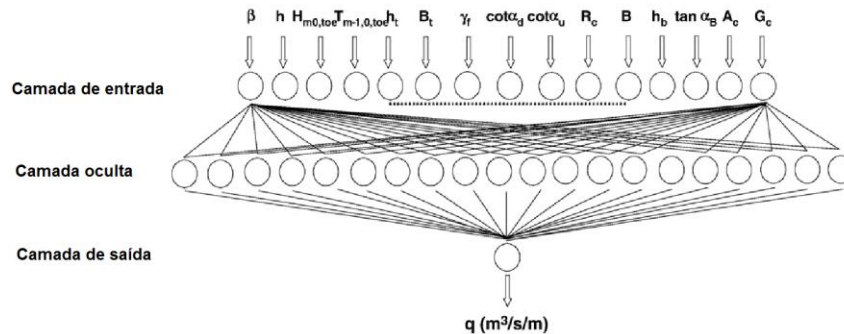


Figura 5.17 – Esquema de uma rede neuronal artificial estruturada em três camadas, NN_OVERTOPPING2 (Pullen et al., 2007).

A Figura 5.18 apresenta as 15 variáveis de entrada: 3 associadas à caracterização da agitação marítima junto à estrutura ($H_{m0, toe}$, $T_{m-1,0, toe}$ e β) e as restantes 12 associadas às características da estrutura (h , h_t , h_b , B_t , B , γ_f , α_d , α_b , α_u , R_c , A_c , G_c).

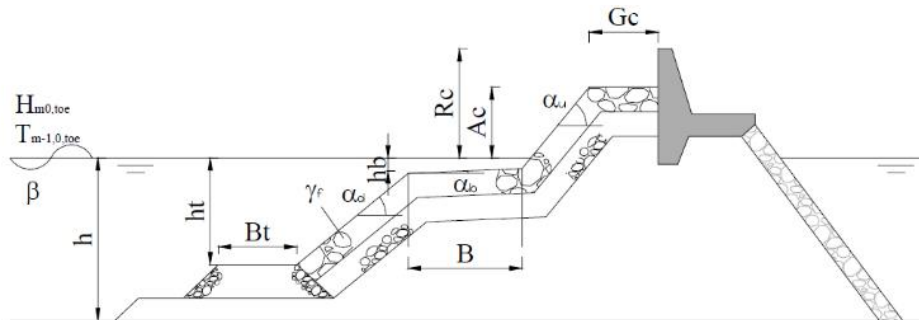


Figura 5.18 – Representação dos parâmetros que definem a geometria da estrutura (Coeveld et al., 2005).

Os valores dos 3 parâmetros que representam a influência da agitação marítima na ferramenta são resultado de algumas correções feitas aos resultados do modelo DREAMS:

- $H_{m0, toe}$ – Altura de onda significativa espectral na base da estrutura. Este parâmetro é equivalente à altura de onda significativa (H_s). Para se determinar este parâmetro é necessário definir o valor da altura significativa máxima, $H_{S_{máx}}$, que limita o H_s de acordo com a profundidade (a variação decrescente da profundidade afeta a rebentação da onda, fazendo com que esta rebente antes de atingir efetivamente a costa). Desta forma, utiliza-se uma relação empírica (Equação 5.1 e

Equação 5.2) para considerar apenas o valor de H_s até 0.78 da profundidade da água, caso contrário utiliza-se $H_{S_{m\acute{a}x}}$ como H_s .

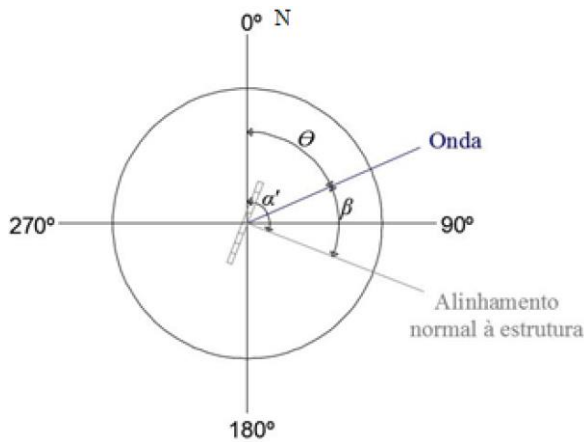
$$H_{S_{m\acute{a}x}} = 0.78 \times (\text{NM} + \text{Cota Batimétrica Projeto}) \quad [5.1]$$

$$\begin{cases} \text{Se } H_s < H_{S_{m\acute{a}x}} \rightarrow H_{S_{\text{corrig}}} = H_s \\ \text{Se } H_s \geq H_{S_{m\acute{a}x}} \rightarrow H_{S_{\text{corrig}}} = H_{S_{m\acute{a}x}} \end{cases} \quad [5.2]$$

- $T_{m-1, 0toe}$ – Período médio de onda espectral na base da estrutura.
Este parâmetro por vezes, não é obtido diretamente, podendo relacionar-se com o período de pico (T_p) através da Equação 5.3. Esta expressão apenas é válida para espectros unimodais com uma forma semelhante à forma do espectro JONSWAP;

$$T_{m-1, 0, toe} = \frac{T_p}{1.1} \quad [5.3]$$

- β' – Ângulo entre a direção de propagação da agitação e a normal à estrutura (Figura 5.19).



Θ – Ângulo de incidência das ondas em relação ao norte (dado pelo SWAN e DREAMS);

α' – Ângulo da normal à estrutura em relação ao norte;

β – Ângulo entre a perpendicular da estrutura e a direção de incidência.

Figura 5.19 – Exemplo de obtenção de β .

Como o NN_OVERTOPPING2 apenas considera ângulos entre 0° e 90° devem considerar-se as Equações 5.4 para a obtenção de β .

$$\begin{cases} \text{Se } \theta \leq \alpha' \rightarrow \beta = \alpha' - \theta \\ \text{Se } \theta > \alpha' \rightarrow \beta = \theta - \alpha' \end{cases} \quad [5.4]$$

Os restantes 12 parâmetros são referentes às características das estruturas:

- h – Parâmetro que descreve a altura de água junto à estrutura, isto é, a altura de água imediatamente em frente da estrutura;

- h_t, B_t – Parâmetros que descrevem a banqueta de pé de talude: h_t é a profundidade de água na banqueta de fundo e B_t é a largura do pé de talude da estrutura. Caso não exista banqueta de fundo $h = h_t$ e $B_t = 0$;
- $B, h_b, \tan \alpha_b$ – Parâmetros que descrevem a berma da estrutura: B é a largura, medida horizontalmente; h_b é a profundidade de água na berma, medida no centro desta. Caso a berma esteja acima do nível de água h_b é negativo e se h_b for horizontal, $\tan \alpha_b = 0$;
- R_c, A_c, G_c – Parâmetros que descrevem a parte superior da estrutura: R_c é a distância entre o nível de repouso e o coroamento da estrutura (bordo livre da parte impermeável do coroamento da estrutura); A_c é a distância entre o nível de repouso e a berma do coroamento da estrutura, isto é, a distância, medida na vertical, do nível da água ao ponto mais alto do talude da estrutura (bordo livre do manto permeável da estrutura); G_c é a largura da berma de coroamento. Caso o muro cortina seja construído na estrutura, G_c é a largura dos blocos em frente ao elemento do coroamento;
- $\cot \alpha_d, \cot \alpha_u$ – Parâmetros que descrevem o/os declive/declives da estrutura: $\cot \alpha_d, \cot \alpha_u$ são as cotangentes dos declives na área central da estrutura sob ($\cot \alpha_d$ descendente) e sobre ($\cot \alpha_u$ ascendente) a berma respetivamente;
- γ_f – Parâmetro que indica a rugosidade e a permeabilidade da estrutura, de acordo com o Quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Valores do coeficiente de rugosidade/permeabilidade, para alguns tipos de materiais constituintes do talude (Coeveld et al., 2005)

Tipo de material do talude	γ_f	Tipo de material do talude	γ_f
Superfície lisa e impermeável	1	X-blocks	0.49
Enrocamento	0.5	Core-locs	0.47
Cubos (2 camadas)	0.5	HARO's	0.47
Cubos (1 camada)	0.52	Tetrápodes	0.4
Cubos Antifer	0.5	Dolos	0.43
Acropódes	0.49	Seabeas	0.5

Para cada grupo de valores de entrada inseridos pelos utilizadores, obtém-se o valor de caudal médio galgado, q , o valor de q corrigido que contabiliza alguns efeitos de escala e de modelo

e ainda, 7 outros valores de q indicando os quantis de várias ordens ($q_{2.5\%}$, $q_{5\%}$, $q_{25\%}$, $q_{50\%}$, $q_{75\%}$, $q_{95\%}$ e $q_{97.5\%}$).

5.5.2. Condições de aplicação

Uma estrutura costeira comum é, normalmente, constituída por três partes: a parte inferior (ou pé de talude), a parte central (eventualmente com uma berma) e a parte superior (ou coroamento). A identificação das três partes referidas pode não ser clara, dependendo das condições hidráulicas e da geometria da estrutura. Assim, a mesma estrutura pode adotar diferentes valores de parâmetros de entrada relativamente à geometria da estrutura, devido aos diferentes níveis de água e ângulos de incidência na estrutura da onda.

A Figura 5.20 apresenta as três partes constituintes de uma estrutura costeira, com a identificação da respetiva parte central de acordo com o Nível de Maré (NM) que corresponde à Equação 5.5.

$$\begin{cases} \text{NM} + 1.5 \times H_{m0, \text{toe}} \\ \text{NM} - 1.5 \times H_{m0, \text{toe}} \end{cases} \quad [5.5]$$

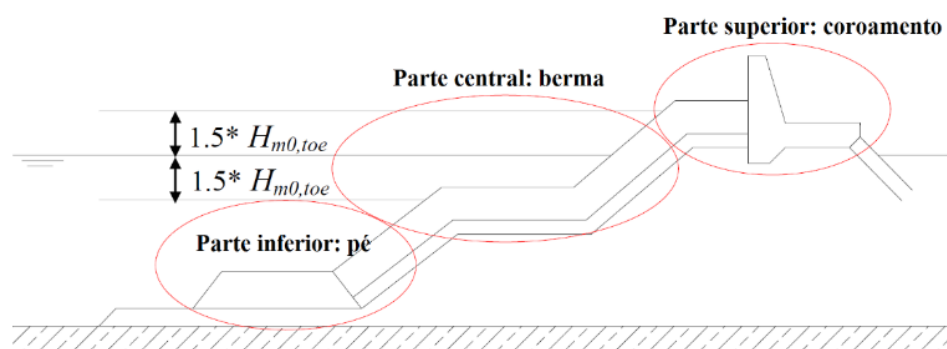


Figura 5.20 – Partes constituintes de uma estrutura costeira (adaptado de Coeveld et al., 2005)

Para a definição de todos os parâmetros de entrada referidos, é indispensável o conhecimento dos perfis transversais das estruturas em estudo, situadas na defesa frontal e nos quebra-mares sul e norte do porto da Praia da Vitória.

A Figura 5.21 localiza os pontos de estudo (D1 a D10) e as respetivas estruturas.

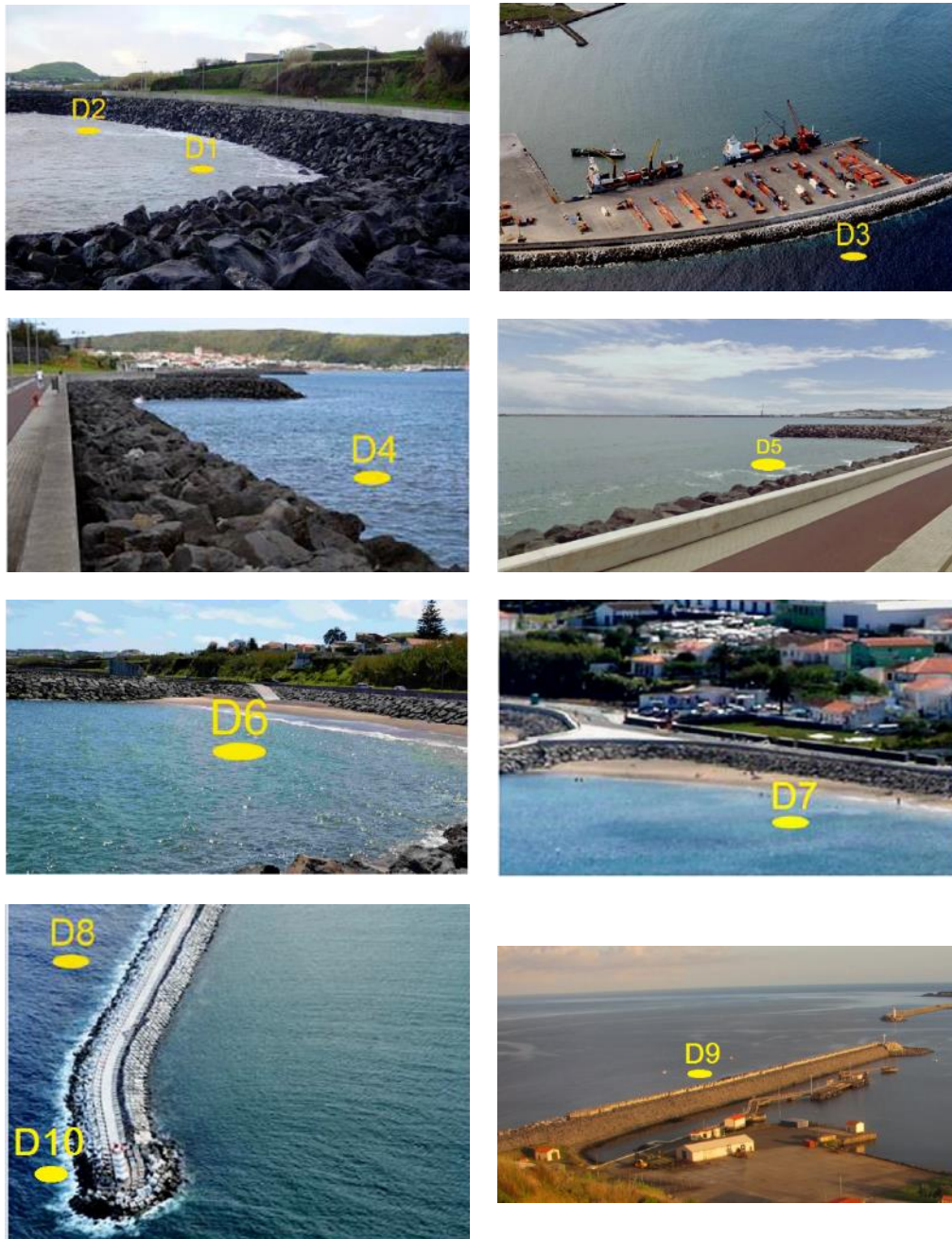


Figura 5.21 – Fotografias com a localização dos pontos estudados no modelo DREAMS e na ferramenta NN_OVERTOPPING2.

O manual da ferramenta neuronal apresenta uma diversidade de exemplos a aplicar, em cada uma das secções-tipo em estudo:

- Perfil D1

O perfil D1 situa-se em frente ao enraizamento do esporão 3 e como tal, apresenta um perfil-tipo distinto dos restantes esporões, devido à existência de uma berma no talude (Figura 4.18).

Por ter uma berma, tem-se em consideração o parâmetro B, que representa a largura da berma medida horizontalmente, e o parâmetro h_b , que representa a profundidade da água na berma medida no centro desta.

Definiu-se que a berma assume a maior largura, 11 m, e que se está perante uma berma alta (Equação 5.6).

$$h_b = NM - 2.5 \quad [5.6]$$

- Perfis D2, D4, D5, D6, D7

Os perfis D2, D4, D5, D6 e D7 pertencem à defesa frontal cujos perfis-tipo não apresentam nenhuma peculiaridade estrutural (Figura 4.17).

- Perfil D3

O perfil D3 (Figura 4.5) assemelha-se ao exemplo apresentado na Figura 5.22, em que o perfil transversal é composto por mais do que um talude.

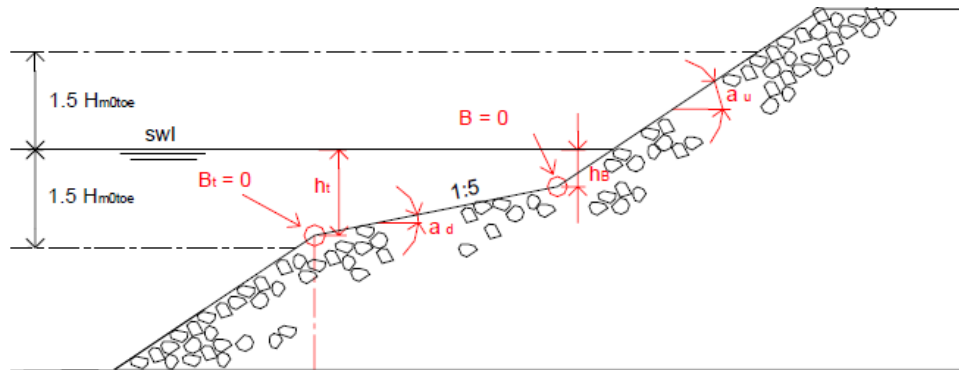


Figura 5.22 – Estrutura composta por taludes com diferentes inclinações (Coeveld et al., 2005).

Como o perfil D3 apresenta, em certos casos, inclinações de taludes distintas na zona ativa do manto, optou-se por considerar a presença de uma berma fictícia. Admitindo-se $B = 0$, $\tan(\alpha_b) = 0$ e h_b de acordo com as Equações 5.7.

$$\begin{cases} NM - 1.5 \times H_{m0toe} < -2.99 \rightarrow h_b = 2.99 + NM \\ NM - 1.5 \times H_{m0toe} \geq -2.99 \rightarrow h_b = 0 \end{cases} \quad [5.7]$$

Desta forma, é possível considerar valores diferentes de inclinação do talude acima ($\cot(\alpha_u)$) e abaixo ($\cot(\alpha_d)$) desta berma fictícia, tal como pode ver-se nas Equações 5.8.

$$\text{NM} - 1.5 \times H_{m0toe} < -2.99 \rightarrow \cot_{\alpha_d} = 50.32 / 14.97 \quad [5.8]$$

$$\text{NM} - 1.5 \times H_{m0toe} \geq -2.99 \rightarrow \cot_{\alpha_d} = \cot_{\alpha_u} = 3 / 2$$

O perfil D3 é composto por tetrápodes e divide-se em duas partes, uma apresenta a peculiaridade de conter um defletor de onda e outra não, como é possível verificar na Figura 5.23.



Figura 5.23 – Vista de diferentes secções do quebra-mar sul (Silva, 2011).

Quando o perfil D3 contém o defletor de onda, é necessário utilizar uma variação de γ_f , aplicando-se a Equação 5.9 (aplica-se em estruturas cuja superfície apresenta rugosidade/permeabilidade).

$$\begin{cases} R_c/H_{m0toe} \geq 0.5 \rightarrow \gamma_f = 0.4 - 0.05 \\ R_c/H_{m0toe} < 0.5 \rightarrow \gamma_f = 0.4 \end{cases} \quad [5.9]$$

Além disso, o perfil D3 pode apresentar uma largura da berma de coroamento (G_c) de 8 m ou 16 m. De acordo com esta variação, a distância entre o nível de repouso e a berma de coroamento da estrutura (A_c) também varia, conforme a Equação 5.10.

$$G_c = 8 \text{ m} \rightarrow A_c = 8.6 - \text{NM} \quad [5.10]$$

$$G_c = 16 \text{ m} \rightarrow A_c = \left(\frac{7.1 + 8.6}{2} \right) - \text{NM}$$

- o Perfil D8

Tal como o perfil D3, o perfil D8 (Figura 4.6) apresenta inclinações de talude distintas na zona ativa do manto e por isso, também se considerou a presença de uma berma fictícia (Equação 5.11).

$$\begin{aligned}
 NM - 1.5 \times H_{m0toe} < -9.8 &\rightarrow h_b = 9.8 + NM \\
 NM - 1.5 \times H_{m0toe} \geq -9.8 &\rightarrow h_b = 0
 \end{aligned}
 \tag{5.11}$$

E como tal, considerou-se valores diferentes de inclinação do talude acima ($\cot(\alpha_u)$) e abaixo ($\cot(\alpha_d)$) desta berma fictícia (Equações 5.12).

$$\begin{aligned}
 NM - 1.5 \times H_{m0toe} < -9.8 &\rightarrow \cot_{\alpha_d} = 81.6 / 11.2 \\
 NM - 1.5 \times H_{m0toe} \geq -9.8 &\rightarrow \cot_{\alpha_d} = \cot_{\alpha_u} = 3 / 2
 \end{aligned}
 \tag{5.12}$$

- o Perfil D9

O perfil D9 (Figura 5.24) assemelha-se ao exemplo apresentado na Figura 5.22, pois é composto por vários taludes. Calculou-se a largura da berma através do prolongamento da inclinação superior e inferior (α_d e α_u) até definir o nível da berma média, como é apresentado na Figura 5.25.



Figura 5.24 – Vista do quebra-mar norte do porto da Praia da Vitória [31].

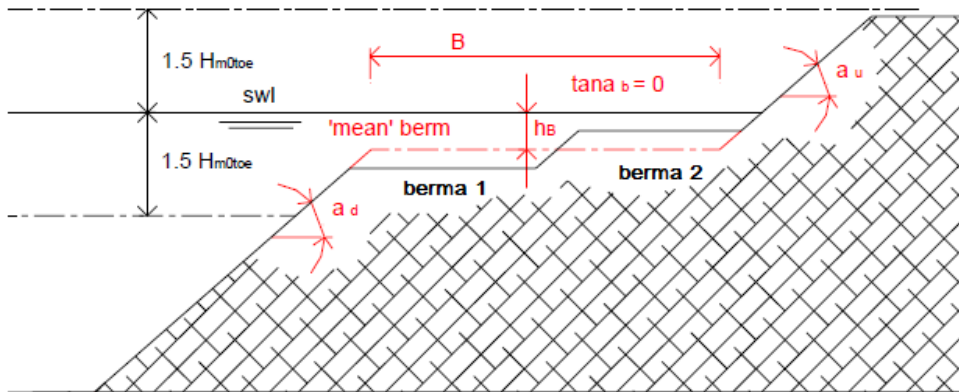


Figura 5.25 – Estrutura composta por mais de uma berma (Coeveld et al., 2005).

Este perfil (Figura 4.8) apresenta as cotas segundo o MLW (*Mean Low Water*) e por se estar no Arquipélago dos Açores, este nível situa-se a 0.20 metros acima do ZH (Instituto Hidrográfico, 2016).

A altura da berma foi determinada com base na Equação 5.13, considerando que a berma assume sinal negativo quando se situa acima do nível de maré, e positivo no caso oposto.

$$\begin{aligned} NM + 1.5 \times H_{m0toe} > 4 + 0.2 &\rightarrow h_b = (4 + 0.2) - NM \\ NM + 1.5 \times H_{m0toe} \leq 4 + 0.2 &\rightarrow h_b = 0 \end{aligned} \quad [5.13]$$

◦ Perfil D10

O perfil D10 (Figura 4.7) tem uma geometria idêntica aos perfis D3 e D8 e como tal, considerou-se a presença de uma berma fictícia (Equação 5.11).

Assim, também se consideraram valores diferentes de inclinação do talude acima ($\cot(\alpha_u)$) e abaixo ($\cot(\alpha_d)$) desta berma fictícia (Equações 5.14).

$$\begin{aligned} NM - 1.5 \times H_{m0toe} < -9.8 &\rightarrow \cot_{\alpha_d} = 48.18 / 10.2 \\ NM - 1.5 \times H_{m0toe} \geq -9.8 &\rightarrow \cot_{\alpha_d} = \cot_{\alpha_u} = 3 / 2 \end{aligned} \quad [5.14]$$

Por fim, o Quadro 5.8 apresenta o ângulo que a normal à estrutura faz com o norte, α' , em cada um dos pontos de estudo.

Quadro 5.8 – Ângulo da normal à estrutura com o norte, α' .

<i>Defesa Frontal</i>	α' (°)
D1	133°
D2	83°
D4	80°
D5	94°
D6	110°
D7	86°
<i>Quebra-mar sul</i>	
D3	98°
D8	86°
D10	71°
<i>Quebra-mar norte</i>	
D9	90°

Tendo em consideração que os perfis das estruturas marítimas já foram apresentadas no Capítulo 4, o Quadro 5.9 apresenta os valores atribuídos a cada um dos parâmetros que constituem os dados da ferramenta neuronal. Note-se que os parâmetros com medida horizontal são simples de definir, mas por outro lado os parâmetros que envolvem medidas verticais, estão dependentes do nível de maré.

Quadro 5.9 – Parâmetros de *input* da ferramenta NN_OVERTOPPING2 para os casos analisados.

	h [m]	h_t [m]	B_t [m]	Y_f [-]	cot α_a [-]	cot α_u [-]	R_c [m]	B [m]	h_b [m]	tan α_b [-]	A_c [m]	G_c [m]
<i>Defesa Frontal</i>												
D1	1 + NM	1 + NM	0	0.5	1.5/1	1.5/1	(5.5+1) - NM	11	NM - 2.5	0	5.5 - NM	5.25
D2	1.4 + NM	1.4 + NM	0	0.5	1.5/1	1.5/1	(5.5+1.45) - NM	0	0	0	5.5 - NM	5.25
D4	1.3 + NM	1.3 + NM	0	0.5	1.5/1	1.5/1	(5.5+1.15) - NM	0	0	0	5.5 - NM	5.25
D5	0.7 + NM	0.7 + NM	0	0.5	1.5/1	1.5/1	(5.5+0.83) - NM	0	0	0	5.5 - NM	5.25
D6	0.6 + NM	0.6 + NM	0	0.5	1.5/1	1.5/1	(5.5+1.3) - NM	0	0	0	5.5 - NM	5.25
D7	0 + NM	0 + NM	0	0.5	1.5/1	1.5/1	(5.5+0.77) - NM	0	0	0	5.5 - NM	5.25
<i>Quebra-mar Sul</i>												
D3	18 + NM	18 + NM	0	<i>variável</i>	<i>variável</i>	3/2	11 - NM	0	<i>variável</i>	0	8.6 - NM ((7.1+8.6)/2) - NM	8 16
D8	21 + NM	21 + NM	0	0.4	<i>variável</i>	3/2	7.1 - NM	0	<i>variável</i>	0	8.6 - NM	8
D10	21 + NM	21 + NM	0	0.4	<i>variável</i>	3/2	7.1 - NM	0	<i>variável</i>	0	8.6 - NM	8
<i>Quebra-mar Norte</i>												
D9	(13-0.2) + NM	(13-0.2) + NM	0	0.47	1.3/1	1.3/1	(9.3+0.2) - NM	30	<i>variável</i>	(5-3)/30	(12.5+0.2) - NM	5

5.5.3. Análise de resultados

Os resultados da ferramenta NN_OVERTOPPING2 para o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2013 foram obtidos para os mesmos dez pontos de estudo (D1 a D10) considerando os parâmetros descritos no Quadro 5.9. Após a aplicação da ferramenta neuronal, obteve-se o Quadro 5.10, onde se comparam os valores de caudal, q , nos dez pontos de estudo.

Quadro 5.10 – Análise estatística referente aos resultados do parâmetro q sobre os dez pontos, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.

	q [l/s/m]									
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Média	0.0001	0.0032	0.0013	0.0034	0.0012	0.0006	0.0001	0.0125	0.003	0.0099
Desvio-padrão	0.002	0.027	0.026	0.026	0.013	0.008	0.003	0.205	0.0557	0.225
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo	0.166	0.634	2.598	0.715	0.385	0.293	0.162	16.610	7.693	31.810
Contagem	51132	51132	51132	51132	51132	51132	51132	51132	51132	51132

Da Figura 5.26 à Figura 5.35 apresentam-se os caudais médios galgados por unidade de comprimento do coroamento da estrutura, q , estimados pela ferramenta NN_OVERTOPPING2, para cada um dos pontos D1 a D10. Além disso, o mesmo gráfico também apresenta os valores de $gH_{m0}T_{m-1,0}$ (utilizado frequentemente para adimensionalizar o caudal médio), o que permite relacionar a grandeza de dois (H_{m0} e $T_{m-1,0}$) dos três parâmetros (H_{m0} , $T_{m-1,0}$ e β) da agitação marítima considerados com os valores de q obtidos.

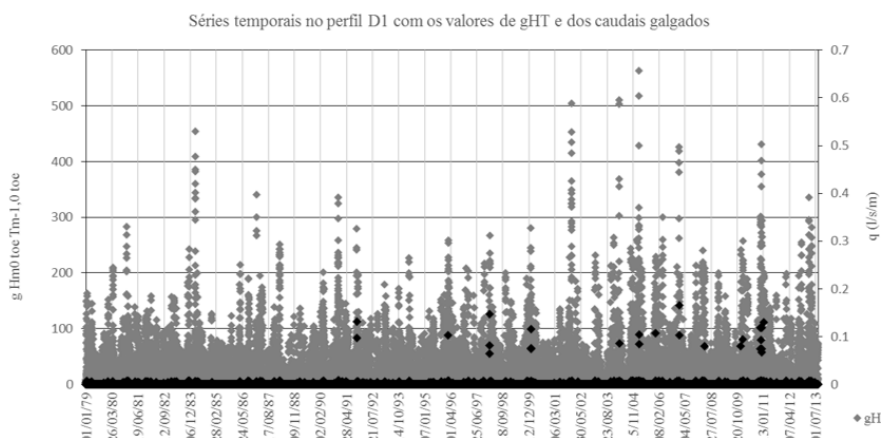


Figura 5.26 – Série temporal dos valores de $gH_{m0}T_{m-1,0}$ e dos caudais médios galgados, q , no ponto D1, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.

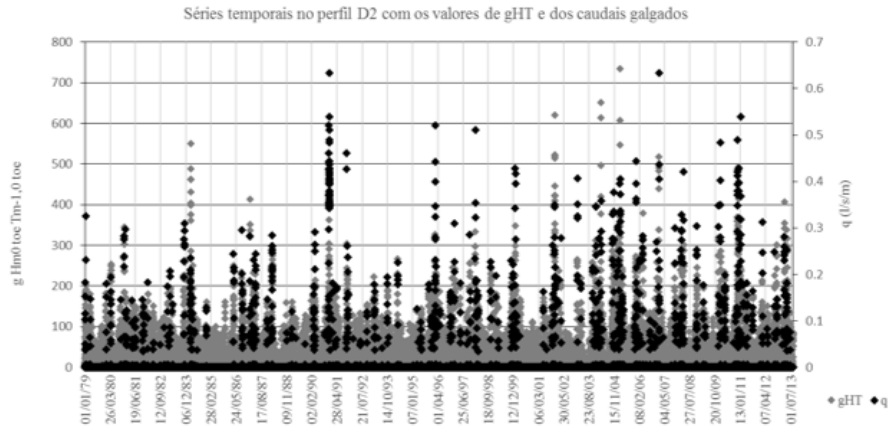


Figura 5.27 – Série temporal dos valores de gHm0Tm-1,0 e dos caudais médios galgados, q, no ponto D2, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.

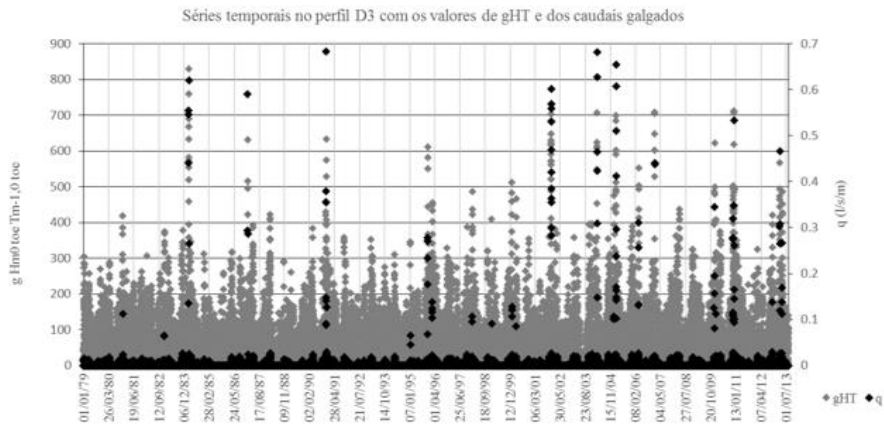


Figura 5.28 – Série temporal dos valores de gHm0Tm-1,0 e dos caudais médios galgados, q, no ponto D3, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.

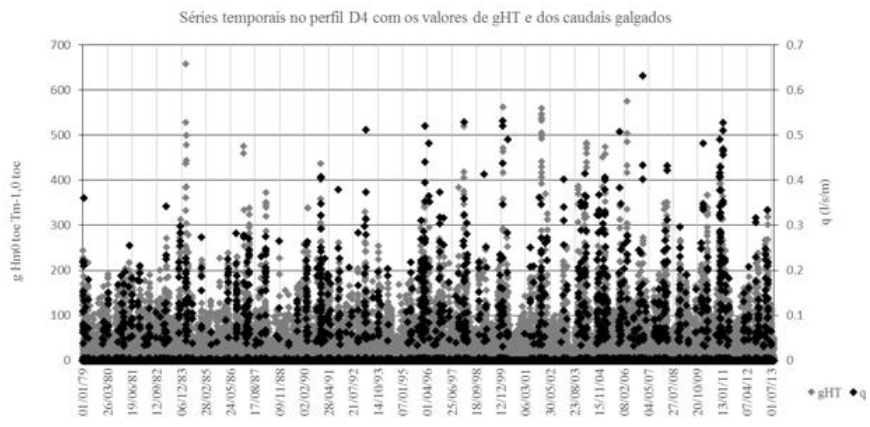


Figura 5.29 – Série temporal dos valores de gHm0Tm-1,0 e dos caudais médios galgados, q, no ponto D4, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.

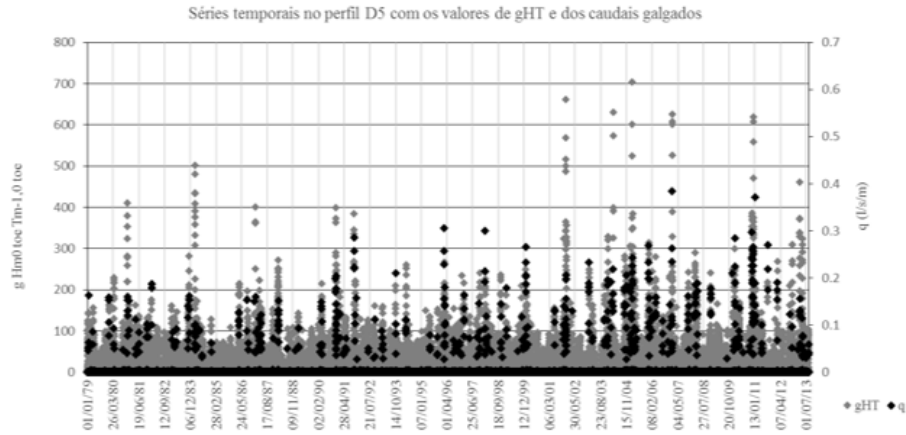


Figura 5.30 – Série temporal dos valores de gHm0Tm-1,0 e dos caudais médios galgados, q, no ponto D5, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.

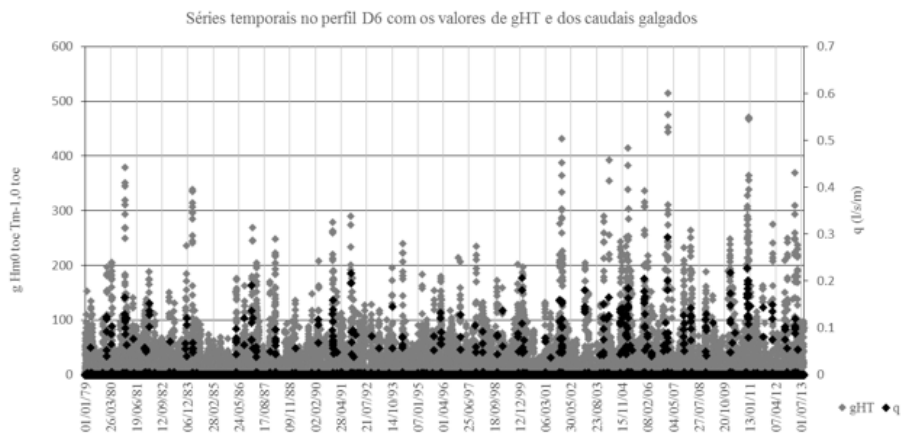


Figura 5.31 – Série temporal dos valores de gHm0Tm-1,0 e dos caudais médios galgados, q, no ponto D6, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.

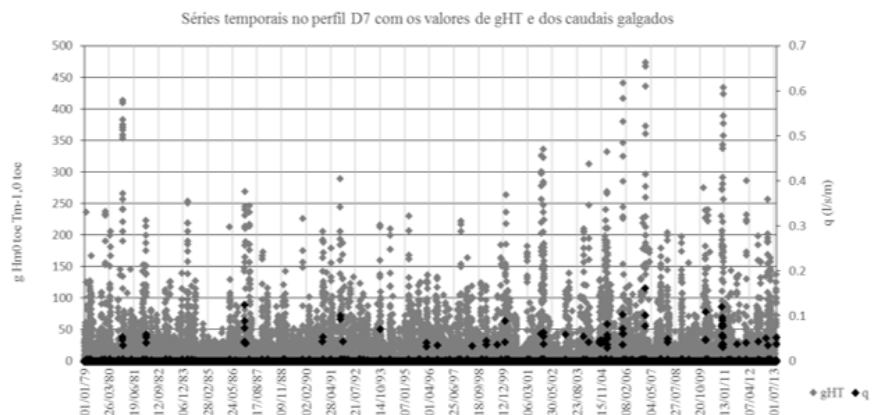


Figura 5.32 – Série temporal dos valores de gHm0Tm-1,0 e dos caudais médios galgados, q, no ponto D7, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.



Figura 5.33 – Série temporal dos valores de gHm0Tm-1,0 e dos caudais médios galgados, q, no ponto D8, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.

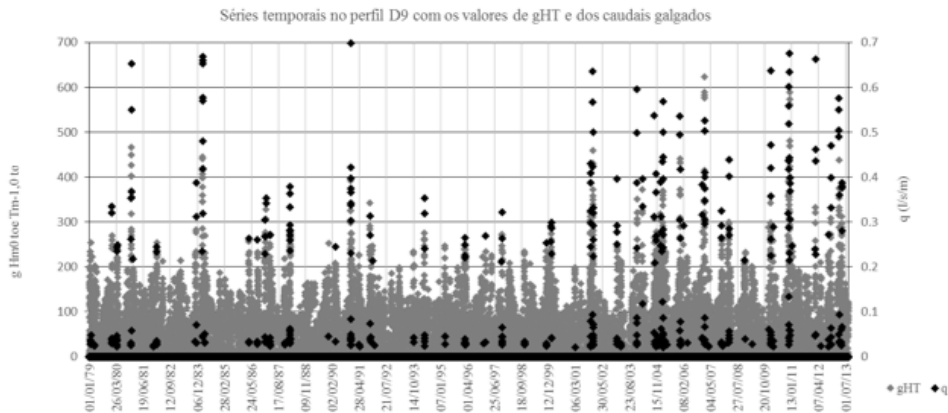


Figura 5.34 – Série temporal dos valores de gHm0Tm-1,0 e dos caudais médios galgados, q, no ponto D9, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.

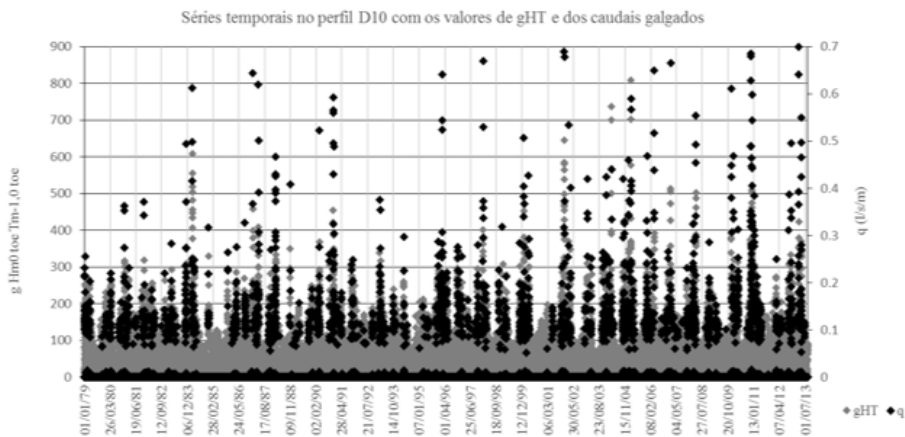


Figura 5.35 – Série temporal dos valores de gHm0Tm-1,0 e dos caudais médios galgados, q, no ponto D10, obtidos com a ferramenta NN_OVERTOPPING2.

O Quadro 5.11 é lido por colunas, onde se identificam as datas das ocorrências dos valores máximos dos caudais médios em cada um dos pontos em estudo (juntamente com as características das situações em que esses galgamentos ocorreram).

Quadro 5.11 – Características das situações em que ocorreu o valor de q máximo em cada ponto.

Pontos		Datas onde se registaram os caudais máximos			
		Os pontos D1, D2, D5, D6, D7 e D9 registaram q máx a 2007/01/24 06:00	O ponto D3 registou q máx a 1984/03/02 18:00	O ponto D4 registou q máx a 2002/03/03 06:00	Os pontos D8 e D10 registaram q máx a 2005/02/27 00:00
D1	q máx [l/s/m]	0.17	0.005	0.000	0.000
	Hs [m]	1.90	1.350	1.173	1.218
	Θ [°]	88.34	82.114	81.167	82.220
D2	q máx [l/s/m]	0.63	0.134	0.189	0.110
	Hs [m]	2.14	1.590	1.346	1.458
	Θ [°]	93.99	83.419	77.504	87.743
D3	q máx [l/s/m]	0.853	2.60	0.015	0.654
	Hs [m]	5.904	7.55	2.810	5.761
	Θ [°]	107.308	88.98	72.633	76.715
D4	q máx [l/s/m]	0.632	0.125	0.72	0.103
	Hs [m]	2.082	1.530	2.06	1.398
	Θ [°]	75.057	70.915	68.68	68.295
D5	q máx [l/s/m]	0.39	0.047	0.000	0.000
	Hs [m]	1.72	1.170	1.005	1.038
	Θ [°]	92.33	86.317	86.013	86.672
D6	q máx [l/s/m]	0.29	0.004	0.000	0.000
	Hs [m]	1.66	1.110	0.530	0.978
	Θ [°]	105.87	105.138	102.091	102.950
D7	q máx [l/s/m]	0.16	0.000	0.000	0.000
	Hs [m]	1.30	0.750	0.427	0.618
	Θ [°]	109.76	107.848	107.928	107.566
D8	q máx [l/s/m]	12.770	16.540	0.348	16.61
	Hs [m]	3.886	6.202	2.739	6.17
	Θ [°]	99.136	78.706	62.308	85.03
D9	q máx [l/s/m]	7.69	0.881	0.000	0.406
	Hs [m]	5.68	4.015	1.046	3.038
	Θ [°]	96.62	77.830	80.263	84.349
D10	q máx [l/s/m]	1.096	6.320	0.534	31.81
	Hs [m]	3.886	5.548	3.039	6.66
	Θ [°]	86.452	67.884	54.486	80.19

Através da análise dos elementos apresentados anteriormente, conclui-se que:

- Tal como seria esperado, os maiores valores de $gH_{m0}T_{m-1,0}$ e de H_{m0} correspondem aos maiores valores de q ;
- Nos pontos D8 e D10 (ambos pertencentes ao quebra-mar sul) verificam-se os valores mais elevados de galgamento: ≈ 17 l/s/m e ≈ 32 l/s/m, respetivamente. Ambos foram obtidos no mesmo dia, 27 de fevereiro de 2005, com alturas significativas de ≈ 6 m e direções de onda vindas de nordeste;
- Apesar de o ponto D3 também pertencer ao quebra-mar sul, não obteve uma percentagem de galgamento tão alta devido à existência de um defletor de onda existente no muro-cortina da estrutura. Assim, o valor máximo de caudal médio neste ponto é de ≈ 3 l/s/m no dia 2 de março de 1984;
- Os pontos pertencentes à defesa frontal (D1, D2, D4, D5, D6 e D7) não apresentam um número elevado de eventos de galgamentos, nem caudais médios significativos, pois são os pontos que se encontram mais protegidos da agitação marítima;
- Os pontos D1, D2, D5, D6, D7, pertencentes à defesa frontal, obtiveram os seus máximos valores de caudais médios, com valores compreendidos entre $0 < q < 1$ l/s/m, no dia 24 de janeiro de 2007;
- Sendo D4 o ponto da defesa frontal mais exposto à agitação marítima vinda de nordeste, o seu valor máximo de caudal médio ocorreu a 3 de março de 2002, com um valor de ≈ 0.7 l/s/m;
- O ponto D9 pertence ao quebra-mar norte e, como tal, esperar-se-ia que os seus valores máximos de caudais médios galgados fossem semelhantes aos pontos D8 e D10. No entanto, o ponto D9 encontra-se protegido da agitação marítima proveniente de direções compreendidas entre norte e este, devido à existência da Ponta da Má Merenda onde se localiza o Caminho do Facho, prolongamento da Serra de Santiago. Assim, registou-se um caudal máximo de ≈ 8 l/s/m, no dia 24 de janeiro de 2007 (tal como outros pontos pertencentes à defesa frontal), com uma altura significativa de ≈ 6 m e direção de $\approx 97^\circ$;
- Os caudais médios máximos no ponto D9 surgem quando as ondas têm direções compreendidas entre este e sul, enquanto no ponto D10 surgem quando as ondas têm direções compreendidas entre norte e este (Figura 5.36).

Comparação dos caudais médios galgados nos pontos D9 e D10

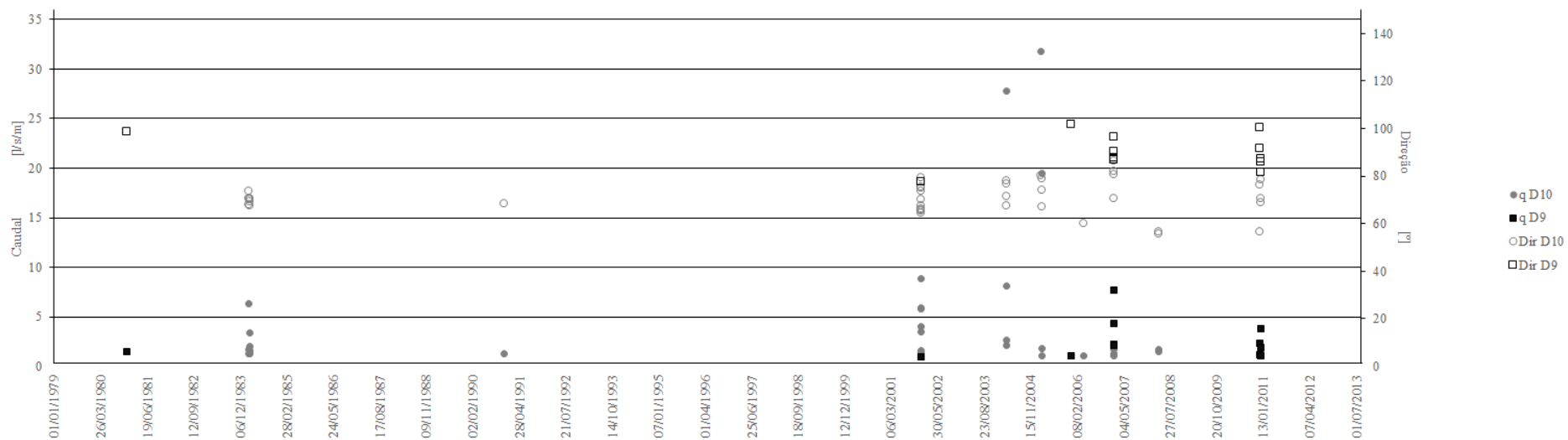


Figura 5.36 – Comparação de caudais médios galgados nos pontos D9 e D10 com as respetivas direções da agitação.

Servindo de exemplo, o ponto D9, pertencente ao quebra-mar norte, registou os maiores caudais médios quando a direção da agitação marítima que atinge esta estrutura se situa no quadrante compreendido entre este e sul, acentuando-se uma ocorrência de galgamentos (Quadro 5.12):

Quadro 5.12 – Eventos de ocorrência de galgamentos acima de 3 l/s/m no ponto D9.

Data	q [l/s/m]
2007/01/24 06:00	7.69
2007/01/24 18:00	4.29

As duas ocorrências de galgamentos registadas pela ferramenta neuronal estão em concordância com a tempestade identificada no capítulo 4.

Por sua vez, o ponto D10, pertencente ao quebra-mar sul, registou os maiores caudais médios quando a direção da agitação marítima que atinge esta estrutura se situa no quadrante compreendido entre norte e este, destacando-se quatro ocorrências de galgamentos (Quadro 5.13):

Quadro 5.13 – Eventos de ocorrência de galgamentos acima de 3 l/s/m no ponto D10.

Data	q [l/s/m]
1984/03/02 18:00	6.32
1984/03/03 00:00	3.41
2001/12/21 06:00	5.85
2001/12/21 12:00	8.89
2001/12/21 18:00	5.90
2001/12/22 00:00	4.06
2001/12/22 06:00	3.43
2004/03/25 18:00	27.80
2004/03/26 00:00	8.08
2005/02/27 00:00	31.81
2005/02/27 06:00	19.44

Das quatro ocorrências identificadas, conseguiram-se associar três delas a eventos de tempestades que ocorreram na realidade:

- A tempestade de março de 1984 ocorreu antes do porto da Praia da Vitória ser construído;

- A tempestade que ocorreu em dezembro de 2001 destruiu praticamente os quebra-mares do porto da Praia da Vitória;
- A tempestade que ocorreu em fevereiro de 2005 obrigou à paragem da reconstrução do quebra-mar sul que tinha sido destruído na tempestade de 2005.

A comparação dos resultados dos galgamentos calculados pela ferramenta neuronal com os relatos identificados nos meios de comunicação permitiu mostrar que a ferramenta NN_OVERTOPPING2 consegue simular estes eventos, e deste modo, ganhar confiança na sua aplicação generalizada para este caso de estudo.

5.6. Avaliação do risco com a metodologia simples

5.6.1. Valores admissíveis de galgamento

No capítulo anterior, a ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 forneceu os valores de caudal médio galgado por metro linear de estrutura (l/s/m), que neste capítulo serão comparados com os valores admissíveis de galgamento recomendados por Pullen et al. (2007) e referidos no subcapítulo 2.2.

Para a seleção dos valores críticos estabelecidos no Quadro 2.1, Quadro 2.2, Quadro 2.3 e Quadro 2.4, considerou-se que:

- O ponto D1 encontra-se junto à linha de costa no enraizamento do esporão 3, local vocacionado para atividades de restauração, recreio e animação. As pessoas encontram-se cientes, com visão clara do mar, não ficam facilmente perturbadas ou assustadas, são capazes de tolerar o facto de ficarem molhadas e deslocam-se numa zona larga (limite de 0.1 l/s/m). Por se tratar de uma defesa frontal com possíveis danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás desta, atribui-se um limite de 200 l/s/m. Por existir um bar, deve-se atribuir um valor limite de 1 l/s/m.
- Os pontos situados na defesa frontal (D2, D4, D5, D6 e D7) têm no seu tardo um percurso pedonal ao longo de toda a marginal, complementado por circulação rodoviária com sentido único. As pessoas encontram-se cientes, com visão clara do mar, não ficam facilmente perturbadas ou assustadas, são capazes de tolerar o facto de ficarem molhadas e deslocam-se numa zona larga (limite de 0.1 l/s/m). Relativamente à estrutura, o limite para defesas frontais com possíveis danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da defesa frontal é de 200 l/s/m.

Quanto à circulação de veículos, admite-se que ela ocorre a baixa velocidade, e os galgamentos que lá ocorrem geram escoamentos mínimos sem a hipótese de existir jatos de água na via (limite de 10 – 50 l/s/m).

- No ponto D3, pertencente ao quebra-mar sul, encontra-se um defletor de onda cujo objetivo é minimizar os efeitos dos maiores galgamentos. Trata-se de uma estrutura que pode ter danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas no seu tardoz (limite de 200 l/s/m). A passagem de peões só é permitida a funcionários do porto ou pessoal autorizado, que seja treinado, com equipamento e calçado adequado, com percepção de se poder molhar e com perigo reduzido de queda para o mar (limite de 1 – 10 l/s/m). A circulação de veículos de transporte ocorre no nível inferior e só é autorizada a velocidade reduzida (10 – 50 l/s/m). Os contentores e equipamentos (gruas, navios, equipamento de amarração, ...) que lá se encontram estão situados entre 5 a 10 m da estrutura (0.4 l/s/m). Também existe a possibilidade de ocorrer afundamento de pequenos barcos, localizados a 5 – 10 m da estrutura, ou a possibilidade de grandes barcos ficarem danificados (limite de 10 l/s/m).
- O ponto D8 pertence também ao quebra-mar sul, corresponde a uma estrutura com pavimento no seu tardoz (limite de 200 l/s/m). A passagem de peões só é permitida a funcionários ou pessoal autorizado, que seja treinado, com equipamento e calçado adequado, com percepção de se poder molhar e com perigo reduzido de queda para o mar (limite de 1 – 10 l/s/m).
- O ponto D9 situa-se no quebra-mar norte, também designado por cais acostável da BA 4, e como tal também se trata de uma estrutura com área pavimentada no seu tardoz (limite de 200 l/s/m). Apenas os funcionários e pessoas treinadas têm autorização para se deslocarem (limite de 1 – 10 l/s/m) e os veículos devem circular a baixa velocidade (limite de 10 – 50 l/s/m). Por existirem equipamentos de amarração a 5 – 10 m da estrutura, há necessidade em limitar o caudal médio galgado a 0.4 l/s/m. Também existe a possibilidade de ocorrer afundamento de pequenos barcos, localizados a 5 – 10 m da estrutura, ou a possibilidade de grandes barcos ficarem danificados (limite de 10 l/s/m).
- O ponto D10 encontra-se na cabeça do quebra-mar sul, onde foi construído um farol (limite de 1 l/s/m). Trata-se, mais uma vez, de uma estrutura que tem no seu tardoz

zonas pavimentadas (limite de 200 l/s/m). A passagem de pessoas só é permitida a funcionários, pessoal autorizado e treinado (limite de 1 – 10 l/s/m).

O Quadro 5.14 apresenta os valores críticos dos caudais médios galgados nos 10 pontos de estudo.

Quadro 5.14 – Valores críticos de caudal médio galgado.

Pontos	Valores críticos de caudal médio [l/s/m]					
	Estrutura	Pessoas	Veículos	Edifícios	Equipamentos	Barcos
D1	200	0.1	-	1	-	-
D2	200	0.1	10	-	-	-
D3	200	1	10	-	0.4	10
D4	200	0.1	10	-	-	-
D5	200	0.1	10	-	-	-
D6	200	0.1	10	-	-	-
D7	200	0.1	10	-	-	-
D8	200	1	-	-	-	-
D9	200	1	10	-	0.4	10
D10	200	1	-	1	-	-

Da Figura 5.37 à Figura 5.42 apresentam-se os caudais médios galgados obtidos pela ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 durante a série temporal de 34 anos, conjuntamente com os valores limite aplicados para cada um dos perfis.

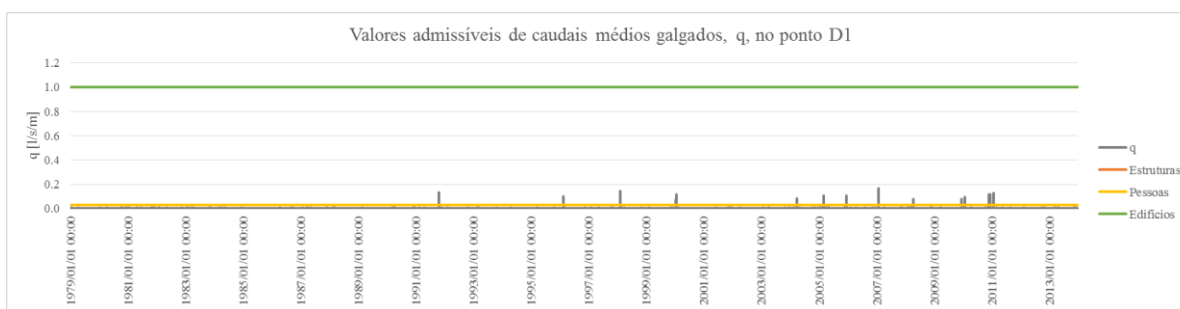


Figura 5.37 – Série temporal do galgamento q para o ponto D1 e os valores admissíveis adotados.

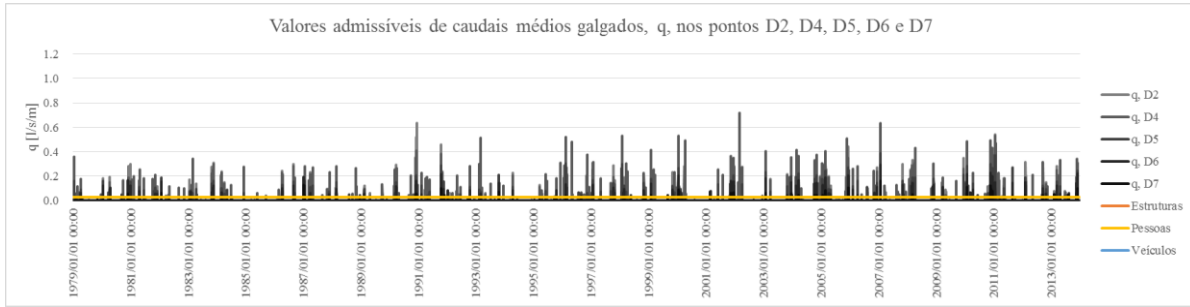


Figura 5.38 – Série temporal do galgamento q para os pontos D2, D4, D5, D6 e D7 e os valores admissíveis adotados.

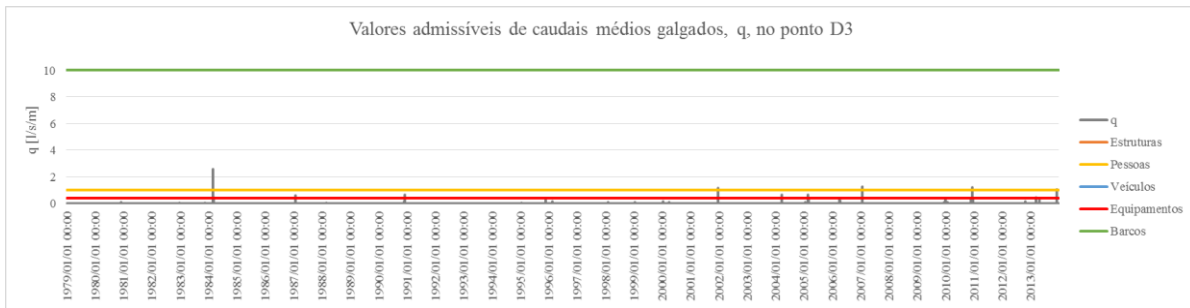


Figura 5.39 – Série temporal do galgamento q para o ponto D3 e os valores admissíveis adotados.

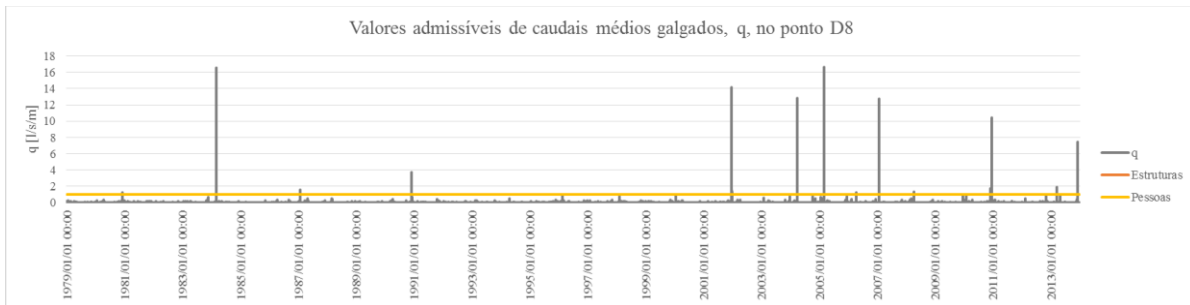


Figura 5.40 – Série temporal do galgamento q para o ponto D8 e os valores admissíveis adotados.

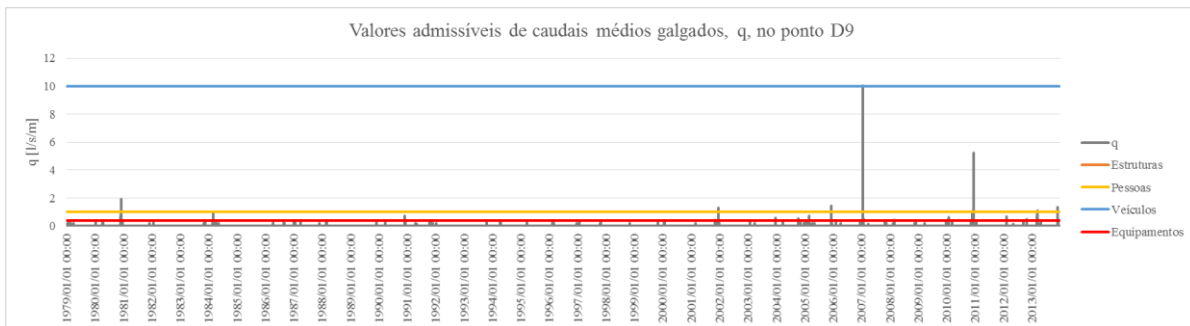


Figura 5.41 – Série temporal do galgamento q para o ponto D9 e os valores admissíveis adotados.

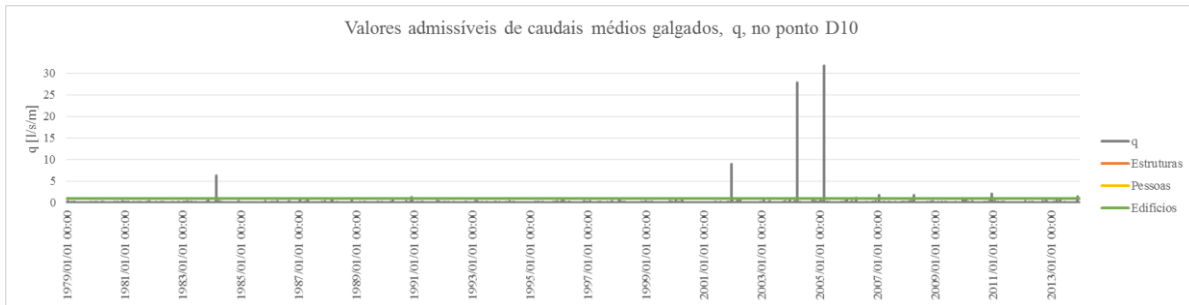


Figura 5.42 – Série temporal do galgamento q para o ponto D10 e os valores admissíveis adotados.

Através da comparação dos resultados de caudais médios galgados, q , com os valores admissíveis definidos para cada um dos pontos, é possível constatar os seguintes factos:

- Os valores admissíveis impostos para as estruturas marítimas são respeitados em todos os pontos, ao longo da série temporal de 34 anos;
- Os valores admissíveis impostos para a proteção de pessoas ao longo dos pontos da defesa frontal (D1, D2, D4, D5, D6 e D7) não são respeitados, pelo que se sugere a presença de agentes da autoridade para que possam evitar o pior, penalizando através de coimas as pessoas que não cumpram as suas ordens;
- Os valores admissíveis impostos para a proteção de pessoas em ambos os quebra-mares (D3, D8, D9 e D10) são maiores que os anteriores pois considera-se que se está perante pessoal treinado. Porém, não é suficiente, pelo que se alertam os funcionários do porto a prestarem maior atenção em caso de tempestade;
- Os valores admissíveis impostos para os edifícios existentes nos pontos D1 e D10 são respeitados quase na sua totalidade, exceto 8 vezes no ponto D10, junto ao farol;
- Os valores admissíveis impostos para os veículos são sempre respeitados, em todos os pontos (D2, D3, D4, D5, D6 e D7), considerando que todos circulam a baixa velocidade;
- Os valores admissíveis impostos para os equipamentos (D3 e D9) não são completamente respeitados, havendo perigo de dano do sistema de amarração ou de, arrastamento de contentores;
- Os valores admissíveis impostos para evitar danos em grandes navios ou o afundamento de pequenos barcos (D3 e D9), são quase na totalidade respeitados, havendo uma exceção no ponto D9.

5.6.2. Grau de probabilidade de ocorrência

A probabilidade de ocorrência de galgamentos é definida pelo quociente entre o número de vezes que os limites definidos por Pullen et al. (2007) são ultrapassados, face ao número total de casos registados (no presente trabalho, contam-se 51132 casos possíveis de ocorrer, ou não, galgamento). O Quadro 5.15 apresenta as estimativas das probabilidades de ocorrência de galgamentos, de acordo com os limiares estabelecidos anteriormente.

Quadro 5.15 – Probabilidade de ocorrência de galgamentos acima dos valores admissíveis para os dez pontos.

Pontos	Probabilidade [%]					
	Estrutura	Pessoas	Veículos	Edifícios	Equipamentos	Barcos
D1	0.000	0.022	-	0.000	-	-
D2	0.000	1.226	0.000	-	-	-
D3	0.000	0.000	0.000	-	0.014	0.000
D4	0.000	1.344	0.000	-	-	-
D5	0.000	0.491	0.000	-	-	-
D6	0.000	0.258	0.000	-	-	-
D7	0.000	0.012	0.000	-	-	-
D8	0.000	0.016	-	-	-	-
D9	0.000	0.002	0.000	-	0.025	0.002
D10	0.000	0.006	-	0.016	-	-

Comparando os resultados obtidos com os graus de probabilidade classificados conforme o Quadro 3.1, é possível concluir-se que:

- Todos os pontos (de D1 a D10) apresentam probabilidade de ocorrência improvável para as “Estruturas”, os “Veículos”, os “Edifícios”, os “Equipamentos” e os “Barcos”, inserindo-se assim no grau 1 de probabilidade de ocorrência;
- Os pontos D1, D3, D5, D6, D7, D8, D9, D10, apresentam probabilidade de ocorrência improvável para o sector as “Pessoas”, inserindo-se, assim, no grau 1 de probabilidade de ocorrência;
- Os pontos D2 e D4, perfis da defesa frontal, apresentam probabilidade de ocorrência acima de 1% para as “Pessoas”, inserindo-se assim no grau 2, de probabilidade de ocorrência, ou seja, probabilidade de ocorrência rara.

5.6.3. Grau de consequências

A metodologia simples foi desenvolvida pelo LNEC com o objetivo de definir as consequências de um galgamento para o local de estudo, através do Quadro 3.2. Por se tratar de um método qualitativo, não existe uma hierarquia ou uma atribuição de pesos aos critérios que foram selecionados: Pessoas, Ambiente, Gestão Portuária e Património. A seleção dos critérios foi realizada de acordo com a vulnerabilidade em cada um dos pontos aquando da ocorrência de galgamentos, identificando-se os locais onde se obteriam mais prejuízos a nível social, ambiental e económico.

A atribuição do grau de consequências é mais complexa, por faltar informação sobre os prejuízos causados pelos maiores valores de caudal médio galgado sobre os pontos mais próximos da vila da Praia da Vitória.

Analisando os prejuízos obtidos em cada uma das tempestades identificadas no Capítulo 4 e considerando que o maior risco reside na zona nordeste da baía, onde se situa o centro da vila da Praia da Vitória, obtém-se o Quadro 5.16.

Quadro 5.16 – Grau de consequências considerado em cada ponto.

Pontos	Grau de consequências						
	Pessoas	Ambiente	Gestão portuária	Património			
				Edifícios	Equipamentos	Estruturas marítimas	Veículos
D1	10	-	-	10	-	5	-
D2	10	-	-	-	-	5	5
D3	10	10	10	-	10	10	10
D4	10	-	-	-	-	5	5
D5	10	-	-	-	-	5	5
D6	10	-	-	-	-	5	5
D7	10	-	-	-	-	5	5
D8	25	-	-	-	-	25	-
D9	25	10	25	-	10	25	10
D10	25	-	-	10	-	25	-

Admitindo que se concede o maior dos graus de consequências atribuídos a cada um dos pontos, de acordo com o quadro anterior, conclui-se que:

- Os pontos D1, D2, D4, D5, D6 e D7 têm grau de consequências de 10, pois tratam-se de locais onde se reúnem aglomerados de pessoas e como tal, encontram-se em perigo permanente aquando da ocorrência de tempestades;
- O ponto D3 tem grau de consequências de 10, devido ao impacto que as maiores ondas podem trazer para os funcionários, para os equipamentos e para a própria estrutura, mesmo tendo um defletor de onda que reduz os galgamentos;
- Os pontos D8, D9 e D10 têm grau de consequências de 25, porque pertencem aos quebra-mares onde se dá o primeiro impacto das ondas sobre uma estrutura. Naturalmente, estes três pontos devem estar em alerta máximo aquando das tempestades, pois os prejuízos podem ser devastadores, a nível económico e social.

5.6.4. Grau de risco

O grau de risco é calculado pela multiplicação entre o grau de probabilidade e o grau de consequências da ocorrência de galgamentos no local de estudo (através do Quadro 3.3), como se apresenta no Quadro 5.17.

Quadro 5.17 – Grau de risco de galgamento em cada um dos pontos.

Pontos	Grau de probabilidade	Grau de consequências	Grau de risco	Descrição do Risco
D1	1	10	10	Risco reduzido
D2	2	10	20	Risco indesejável
D3	1	10	10	Risco reduzido
D4	2	10	20	Risco indesejável
D5	1	10	10	Risco reduzido
D6	1	10	10	Risco reduzido
D7	1	10	10	Risco reduzido
D8	1	25	25	Risco indesejável
D9	1	25	25	Risco indesejável
D10	1	25	25	Risco indesejável

Analisando os resultados obtidos, conclui-se que deve ser dada atenção especial aos pontos D2, D4, D8, D9 e D10, onde o risco é indesejável e, como tal, devem-se tomar medidas de prevenção. Há necessidade de uma investigação detalhada, de uma monitorização e de uma análise de custo-benefício.

Por outro lado, os pontos D1, D3, D5, D6 e D7 têm risco reduzido, que pode ser aceitável e tolerável, caso se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo.

5.6.5. Mapa de risco obtido pela metodologia simples

O mapa de risco permite avaliar o risco aquando da ocorrência de galgamentos e inundações no local de estudo.

A Figura 5.43 apresenta o mapa de risco associado ao grau de risco de galgamento determinado anteriormente, onde a bandeira colocada em cada um dos pontos tem a cor do respetivo grau de risco, de acordo com o Quadro 3.3.



Figura 5.43 – Representação gráfica do grau de risco de galgamento determinado pela metodologia simples (adaptado de Google Earth).

6. Avaliação das consequências

6.1. Introdução

O LNEC tem vindo a abordar a problemática da avaliação das consequências da ocorrência de galgamentos/inundações de zonas costeiras e portuárias, desenvolvendo e aplicando diferentes metodologias para a avaliação do risco (Fortes et al., 2015).

A metodologia simples do LNEC foi aplicada em diversos trabalhos (Neves et al., 2012; Poseiro et al., 2013a; Reis et al., 2014), com o objetivo de se avaliar globalmente e qualitativamente as consequências da ocorrência de galgamentos/inundações numa dada zona de estudo.

No sentido de efetuar uma análise mais aprofundada, quantitativa e detalhada das consequências associadas à ocorrência de galgamentos/inundações indesejáveis para uma dada zona de estudo, recorreu-se a duas metodologias multicritério:

- *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 1980);
- *Analytic Network Process* (ANP) (Saaty, 1996).

Poseiro et al. (2013b) aplicou a metodologia AHP no sistema HIDRALERTA, com o objetivo de contribuir para a análise das consequências da ocorrência de galgamentos/inundações no porto da Praia da Vitória (Açores, Portugal). Apesar de neste estudo terem sido calculados os caudais médios galgados para um período de análise curto (de 2005 a 2012), os autores não relacionaram os resultados dos galgamentos obtidos com o mapa de consequências obtido pela metodologia AHP. Deste modo, foram definidos os critérios Cotas de inundação, Uso do solo, Edifícios, População e Vias de comunicação, aos quais foi aplicada a metodologia AHP para se definir o peso de cada um deles. No entanto, só se definiu o peso dos respetivos subcritérios aquando a realização do mapa das consequências, onde foi definida uma escala de 1 a 9, em que 1 representava o subcritério com menor relevância e 9 o subcritério com maior relevância.

Na presente dissertação, pretende-se analisar as consequências da ocorrência de galgamentos e respetivas inundações no porto e baía da Praia da Vitória. Com efeito, caracterizou-se a área protegida pelas estruturas marítimas e selecionaram-se os critérios a serem estudados,

de forma a obter-se um resultado realista. A Figura 6.1 apresenta o esquema da hierarquia aplicada aos critérios em estudo.

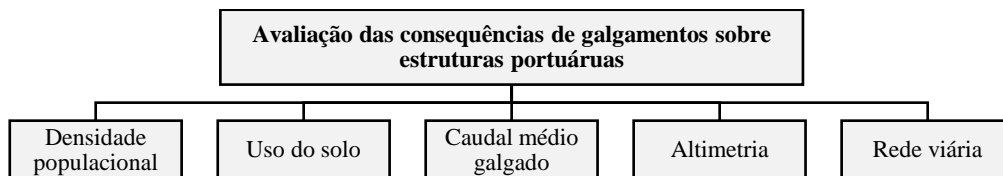


Figura 6.1 – Critérios de estudo.

O critério da Densidade populacional, medido em habitantes/km², expressa a relação entre a população residente local e a superfície do território em estudo.

O critério do Uso do solo trata da forma como o espaço geográfico está a ser ocupado pelo Homem, identificando os espaços de indústria extrativa, florestais, agrícolas, naturais, industriais, balneares, infraestruturados, urbanizáveis e urbanos.

O critério do caudal médio galgado baseia-se nos valores dos caudais médios, obtidos pela ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2. São identificados os locais correspondentes a cada uma das estruturas marítimas, associados a cada gama de valores de caudal.

O critério da Altimetria caracteriza o espaço a nível de relevo, identificando as zonas mais suscetíveis a inundação aquando a ocorrência de galgamentos.

Por fim, o critério da Rede viária contém a hierarquia das vias de comunicação, identificando os caminhos, as estradas militares, municipais e regionais e ainda, as vias rápidas. Ao considerar-se cada uma das vias, conhece-se a velocidade de circulação em cada uma e como tal, a existência de maior ou menor vulnerabilidade.

6.2. Aplicação da metodologia *Analytic Hierarchy Process*

A presente metodologia permite analisar espacialmente, classificar e atribuir pesos a cada uma das vertentes ambientais, económicas e sociais, que caracterizam o local de estudo, através do desenvolvimento de um índice espacial de pressão antrópica (Antunes, 2012).

Na presente dissertação pretende-se analisar as consequências da ocorrência de galgamentos e respetivas inundações no porto e baía da Praia da Vitória e, como tal, caracterizou-se a área protegida pelas estruturas marítimas e selecionaram-se os critérios a serem estudados, de forma a obter um resultado realista. A Figura 6.2 apresenta o problema organizado hierarquicamente, de acordo com a metodologia em estudo.

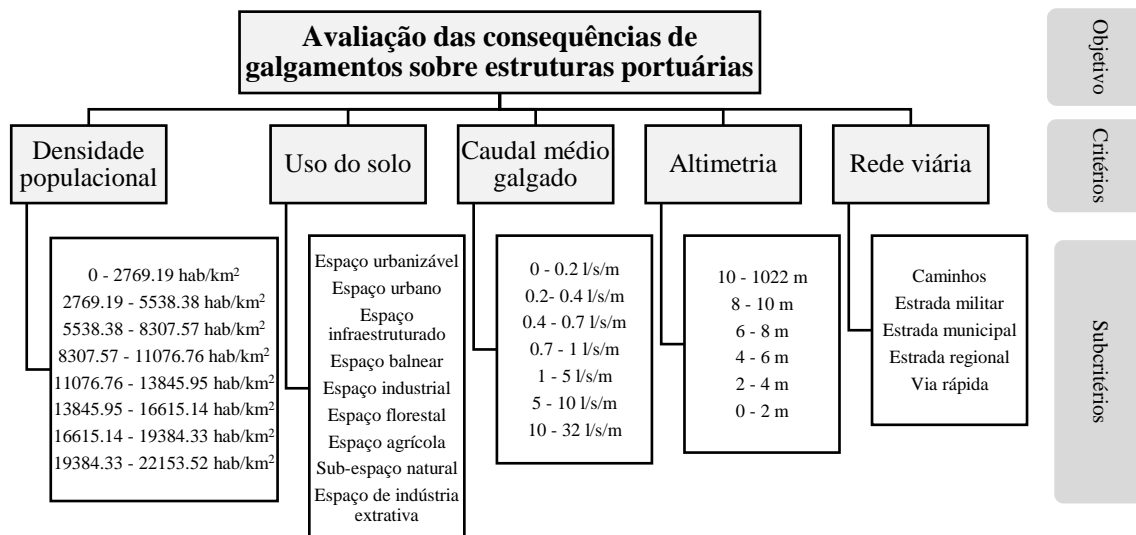


Figura 6.2 – Organização hierárquica do problema de acordo com a metodologia AHP.

Os critérios e os respetivos subcritérios estão identificados do Quadro 6.1 ao Quadro 6.5.

Quadro 6.1 – Identificação dos elementos que compõem o critério Densidade populacional.

C1 - Densidade populacional		
(habitantes/km ²)		
SC1.1	→	0 - 2769.19
SC1.2	→	2769.19 - 5538.38
SC1.3	→	5538.38 - 8307.57
SC1.4	→	8307.57 - 11076.76
SC1.5	→	11076.76 - 13845.95
SC1.6	→	13845.95 - 16615.14
SC1.7	→	16615.14 - 19384.33
SC1.8	→	19384.33 - 22153.52

Quadro 6.2 – Identificação dos elementos que compõem o critério Uso do solo.

C2 - Uso do solo		
SC2.1	→	Espaço de indústria extrativa
SC2.2	→	Sub-espaço natural
SC2.3	→	Espaço agrícola
SC2.4	→	Espaço florestal
SC2.5	→	Espaço industrial
SC2.6	→	Espaço balnear
SC2.7	→	Espaço infraestruturado
SC2.8	→	Espaço urbano
SC2.9	→	Espaço urbanizável

Quadro 6.3 – Identificação dos elementos que compõem o critério Caudal médio galgado.

C3 - Caudal médio galgado (l/s/m)		
(l/s/m)		
SC3.1	→	0 - 0.2
SC3.2	→	0.2 - 0.4
SC3.3	→	0.4 - 0.7
SC3.4	→	0.7 - 1
SC3.5	→	1 - 5
SC3.6	→	5 - 10
SC3.7	→	10 - 32

Quadro 6.4 – Identificação dos elementos que compõem o critério Altimetria.

C4 - Altimetria (m)		
(m)		
SC4.1	→	10 - 1022
SC4.2	→	8 - 10
SC4.3	→	6 - 8
SC4.4	→	4 - 6
SC4.5	→	2 - 4
SC4.6	→	0 - 2

Quadro 6.5 – Identificação dos elementos que compõem o critério Rede viária.

C5 - Rede viária		
SC5.1	→	Caminhos
SC5.2	→	Estrada militar
SC5.3	→	Estrada municipal
SC5.4	→	Estrada regional
SC5.5	→	Via rápida

De acordo com a metodologia AHP apresentada no Capítulo 3, o processo inicia-se pela atribuição de pesos através da Escala fundamental de Saaty (Quadro 3.4), a cada um dos elementos (critérios e respetivos subcritérios), com o auxílio das autoridades locais e junto dos membros do LNEC:

1. Define-se, através de comparações, qual o critério mais vulnerável e que implique as piores consequências após a ocorrência de galgamentos (Quadro 6.6). Assim, define-se a seguinte ordem de prioridades:

Caudal médio galgado > Densidade populacional > Uso do solo > Altimetria > Rede viária

Quadro 6.6 – Matriz de comparação entre os 5 critérios.

		C1	C2	C3	C4	C5	Vector próprio
Densidade populacional	C1	1.000	3.000	0.333	5.000	7.000	0.260
Uso do solo	C2	0.333	1.000	0.200	3.000	5.000	0.134
Caudal médio galgado	C3	3.000	5.000	1.000	7.000	9.000	0.503
Altimetria	C4	0.200	0.333	0.143	1.000	3.000	0.068
Rede Viária	C5	0.143	0.200	0.111	0.333	1.000	0.035

CR = 8.347%

2. Define-se a ordem de prioridades dos subcritérios inseridos em cada um dos critérios e atribui-se os respetivos pesos também de acordo com a escala fundamental de Saaty (Quadro 3.4).

- 2.1. Subcritérios pertencentes ao critério Densidade populacional:

Quanto maior for a densidade populacional, maior é o grau de vulnerabilidade da área em estudo (Quadro 6.7). A densidade populacional é avaliada em habitantes por quilómetro quadrado.

Quadro 6.7 – Matriz de comparação entre os elementos que constituem o critério Densidade populacional.

		SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC1.4	SC1.5	SC1.6	SC1.7	SC1.8	Vector próprio
0 – 2769.19 hab/km ²	SC1.1	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.024
2769.19 – 5538.38 hab/km ²	SC1.2	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.034
5538.38 – 8307.57 hab/km ²	SC1.3	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	0.050
8307.57 – 11076.76 hab/km ²	SC1.4	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.073
11076.76 – 13845.95 hab/km ²	SC1.5	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.108
13845.95 – 16615.14 hab/km ²	SC1.6	6.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.157
16615.14 – 19384.33 hab/km ²	SC1.7	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.227
19384.33 – 22153.52 hab/km ²	SC1.8	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.327

CR = 4.283%

2.2. Subcritérios pertencentes ao critério Uso do solo:

Define-se a seguinte ordem de prioridade:

Espaço urbanizável = Espaço urbano = Espaço infraestruturado = Espaço balnear > Espaço industrial > Espaço florestal = Espaço agrícola = Sub-espaço natural > > Espaço indústria extrativa

Atribuiu-se maior peso aos espaços urbanizável, urbano, infraestruturado (onde se inserem os espaços de proteção da agitação marítima) e balnear por serem os locais onde se reúnem mais pessoas e por estas não terem percepção do perigo; seguidamente, atribuiu-se maior peso ao espaço industrial por ser visitado somente por funcionários; continuamente, os espaços florestal, agrícola e sub-natural têm menor peso, por não serem locais tão visitados; e por fim, atribui-se o menor peso ao espaço de indústria extrativa que se trata de um local de exploração de recursos geológicos, e como tal, é frequentado apenas por funcionários e situa-se em áreas já muito restritas. Após a atribuição de pesos, obtém-se a matriz de comparação entre os subcritérios pertencentes ao Uso do solo (Quadro 6.8).

Quadro 6.8 – Matriz de comparação entre os elementos que constituem o critério Uso do solo.

		SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	Vector próprio
Espaços indústria extrativa	SC2.1	1.000	0.333	0.333	0.333	0.200	0.143	0.143	0.143	0.143	0.308
Sub-espaço natural	SC2.2	3.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.200	0.200	0.200	0.793
Espaço agrícola	SC2.3	3.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.200	0.200	0.200	0.793
Espaço florestal	SC2.4	3.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.200	0.200	0.200	0.793
Espaço industrial	SC2.5	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.815
Espaço balnear	SC2.6	7.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.222
Espaço infraestruturado	SC2.7	7.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.222
Espaço urbano	SC2.8	7.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.222
Espaço urbanizável	SC2.9	7.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.222

CR = 2.135%

2.3. Subcritérios pertencentes ao critério Caudal médio galgado:

Quanto maior for o valor do caudal médio galgado, maior é a consequência que pode ocorrer (Quadro 6.9).

Quadro 6.9 – Matriz de comparação entre os elementos que constituem o critério Caudal médio galgado.

		SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Vector próprio
0 - 0.2 l/s/m	SC3.1	1.000	0.500	0.333	0.167	0.143	0.125	0.111	0.025
0.2 - 0.4 l/s/m	SC3.2	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.143	0.043
0.4 - 0.7 l/s/m	SC3.3	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.066
0.7 - 1 l/s/m	SC3.4	6.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.109
1 - 5 l/s/m	SC3.5	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.161
5 - 10 l/s/m	SC3.6	8.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.239
10 - 32 l/s/m	SC3.7	9.000	7.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.358

CR = 3.008%

2.4. Subcritérios pertencentes ao critério Altimetria:

Quanto menor for a cota altimétrica, maior é a possibilidade de ocorrer inundação após galgamentos e como tal, maior é a consequência (Quadro 6.10).

Quadro 6.10 – Matriz de comparação entre os elementos que constituem o critério Altimetria.

		SC4.1	SC4.2	SC4.3	SC4.4	SC4.5	SC4.6	Vector próprio
10 - 1022 m	SC4.1	1.000	0.500	0.333	0.200	0.143	0.111	0.034
8 - 10 m	SC4.2	2.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.143	0.055
6 - 8 m	SC4.3	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.090
4 - 6 m	SC4.4	5.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.154
2 - 4 m	SC4.5	7.000	5.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.254
0 - 2 m	SC4.6	9.000	7.000	5.000	3.000	2.000	1.000	0.413

CR = 1.379%

2.5. Subcritérios pertencentes ao critério Rede viária:

Quanto maior for a velocidade permitida em cada um dos tipos de vias de comunicação, maior é a consequência caso haja galgamentos sobre a via em causa (Quadro 6.11). Define-se a seguinte ordem de prioridades:

Via rápida > Estrada regional > Estrada municipal > Estrada militar > Caminhos

Quadro 6.11 – Matriz de comparação entre os elementos que constituem o critério Rede viária.

		SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4	SC5.5	Vector próprio
Caminhos	SC5.1	1.000	0.333	0.200	0.143	0.111	0.035
Estrada militar	SC5.2	3.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.068
Estrada municipal	SC5.3	5.000	3.000	1.000	0.333	0.200	0.134
Estrada regional	SC5.4	7.000	5.000	3.000	1.000	0.333	0.260
Via rápida	SC5.5	9.000	7.000	5.000	3.000	1.000	0.503

CR= 8.347%

Após a definição da ordem de prioridades, atribuição de pesos, formação das matrizes atrás referidas e o cálculo do vetor próprio de cada uma delas, é necessário proceder ao teste de consistência. Caso a Taxa de Consistência, CR, seja inferior a 10% a matriz é considerada consistente, caso contrário a atribuição de pesos deve ser reavaliada. Como se pode observar em todas as matrizes atrás referidas, o teste de consistência foi realizado com sucesso.

Para finalizar, os resultados obtidos após a aplicação da metodologia AHP relativos aos pesos dos critérios e subcritérios, apresentam-se na Figura 6.3 e na Figura 6.4 respetivamente.

De modo a obter-se a Figura 6.4 multiplicaram-se os pesos dos critérios pelos pesos obtidos em cada uma das matrizes de subcritérios, permitindo obter-se os pesos dos subcritérios numa amostra de 100%. Realizou-se este cálculo mais “grosseiro” por não existir uma relação direta entre o objetivo do problema e os subcritérios.

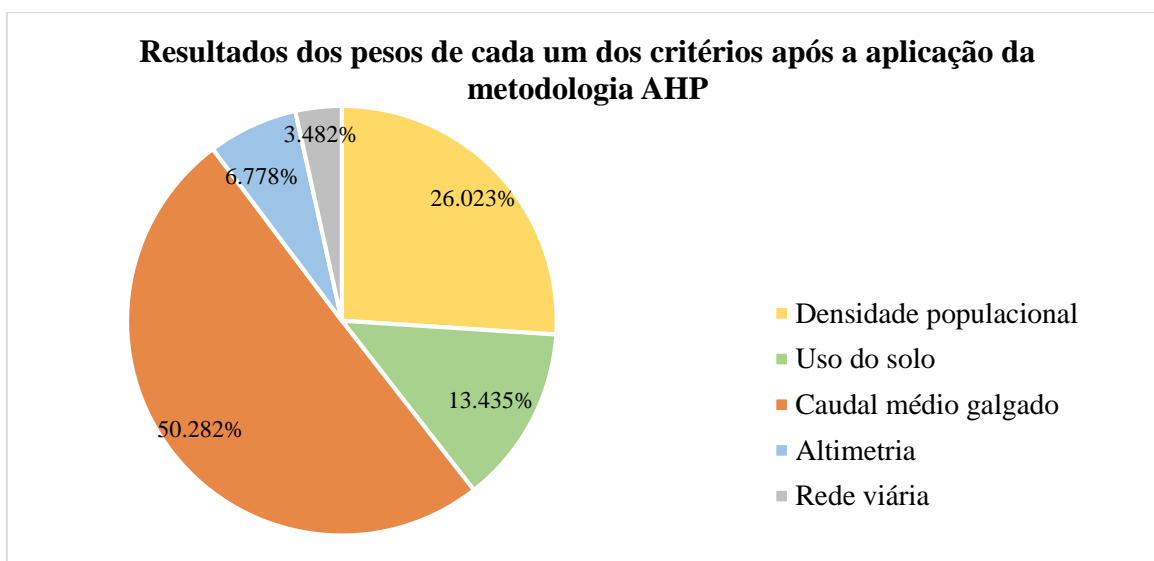


Figura 6.3 – Resultados dos pesos de cada um dos critérios após a aplicação da metodologia AHP.

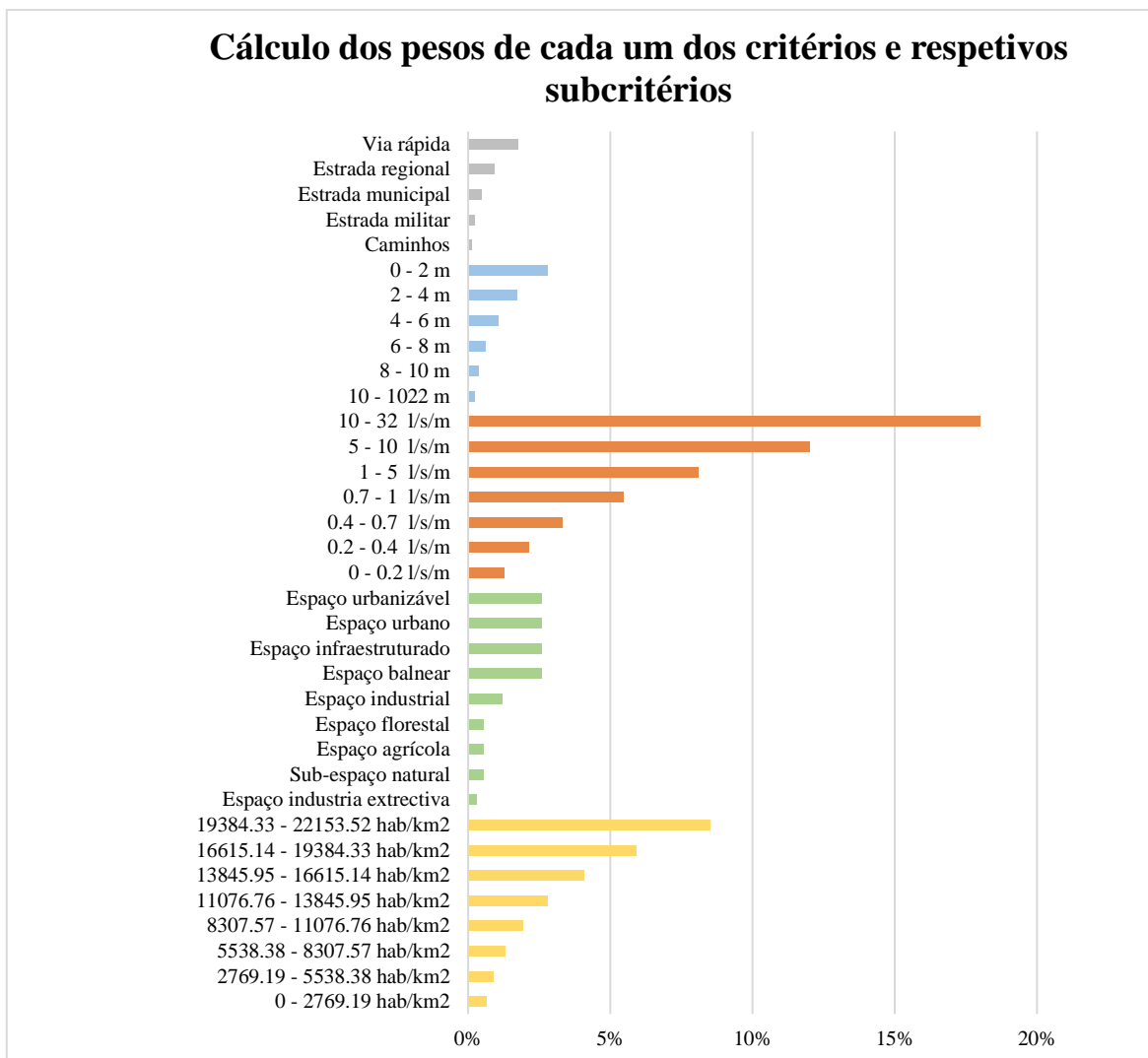


Figura 6.4 – Resultados dos pesos de cada um dos subcritérios após a aplicação da metodologia AHP.

Analisando os pesos obtidos relativamente aos critérios, os mesmos estão de acordo com a ordem de prioridades estabelecida logo de início: Caudal médio galgado com um peso de $\approx 50\%$, seguido da Densidade populacional com um peso de $\approx 26\%$, Uso do solo com $\approx 13\%$, Altimetria com $\approx 7\%$ e, por fim, Rede viária com $\approx 3\%$.

Apesar dos resultados dos critérios em estudo estarem de acordo com a ordem de prioridades estabelecida inicialmente, os resultados dos subcritérios não estão totalmente de acordo com o esperado. Por não se considerar dependências entre todos os subcritérios, verifica-se que quanto maior for o número de subcritérios existentes (inseridos num determinado critério), menor será o peso atribuído a cada um deles. Por isso, os subcritérios pertencentes ao Uso

do solo não apresentam grande relevância comparativamente com os subcritérios pertencentes à Altimetria e Rede viária.

Ao contrário do obtido, pretendia-se adquirir pesos com uma distribuição mais regularizada, garantindo-se a ordem de prioridades definida inicialmente.

6.2.1. Mapa de consequências obtido pela metodologia AHP

De modo a elaborar-se o mapa de consequências após a ocorrência de galgamentos, recorreu-se ao *software* ArcGIS, mais especificamente à ferramenta *ModelBuilder*, que apresenta um fluxograma onde se insere a sequência de todas as operações aplicadas até se obter o mapa de consequências, bem como o tratamento dos dados ao longo de todo o processo.

Após o tratamento dos dados pertencentes a cada um dos critérios e respetivos subcritérios, resultou uma caracterização pormenorizada da zona de estudo, através de uma distribuição espacial (Figura 6.5 à Figura 6.9). O procedimento que inclui todo o tratamento dos dados apresenta-se no Anexo G.

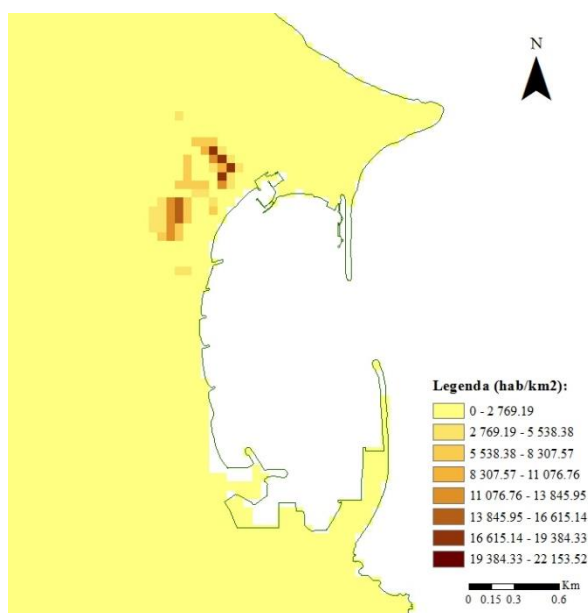


Figura 6.5 – Apresentação dos subcritérios de Densidade populacional, inseridos no domínio de estudo.

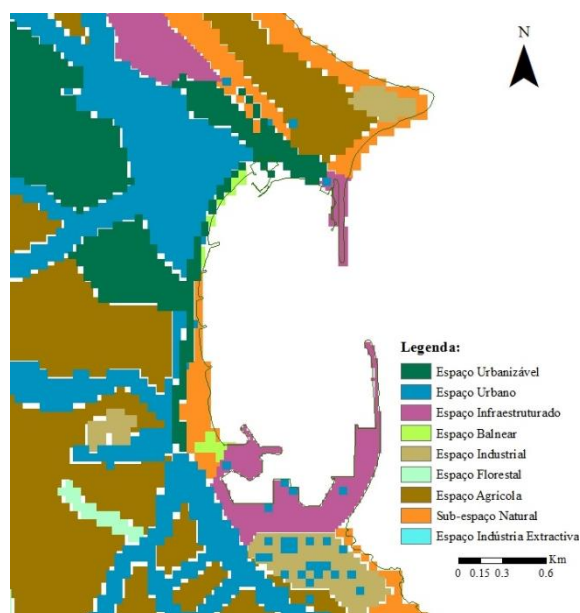


Figura 6.6 – Apresentação dos subcritérios de Uso do solo, inseridos no domínio de estudo.

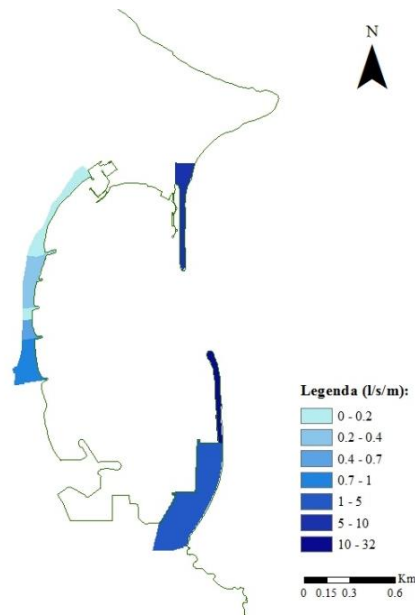


Figura 6.7 – Apresentação dos subcritérios de Caudal médio galgado, inseridos no domínio de estudo.

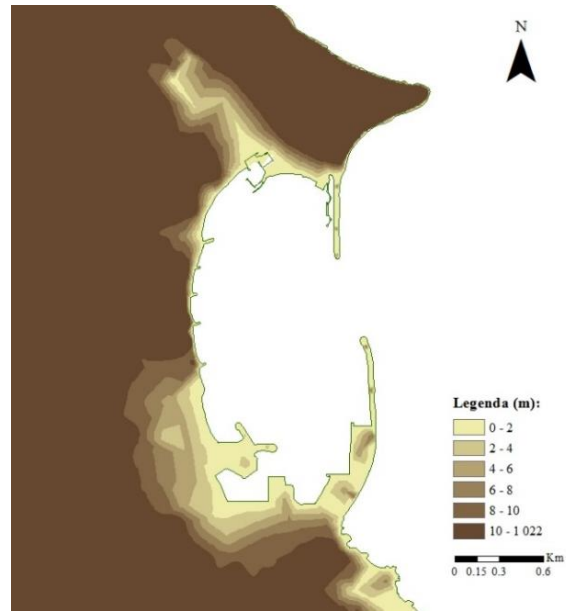


Figura 6.8 – Apresentação dos subcritérios de Altimetria, inseridos no domínio de estudo.

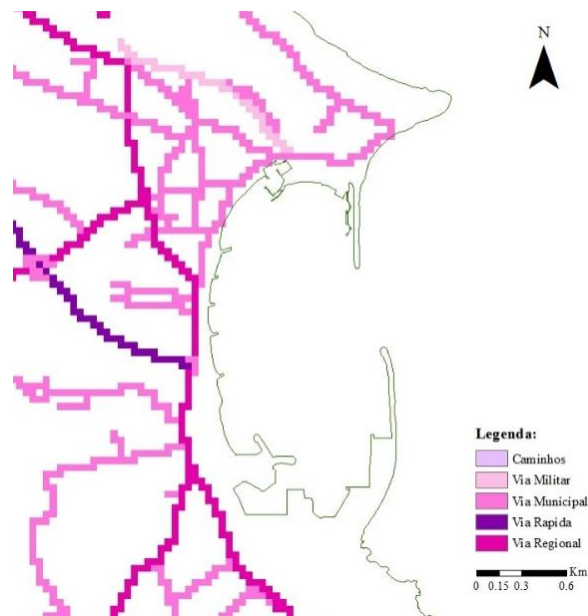


Figura 6.9 – Apresentação dos subcritérios de Rede viária, inseridos no domínio de estudo.

Após todo o tratamento de dados e de modo a conseguir atribuir os pesos obtidos pela metodologia AHP, aplicou-se a ferramenta *Weighted Sum*, onde podem ser inseridos valores decimais.

A Figura 6.10 apresenta o mapa de consequências, resultado da aplicação da metodologia AHP, onde a classe 1 corresponde a um grau de consequências irrelevante, a classe 2 corresponde a um grau de consequências reduzido, a classe 3 corresponde a um grau de consequências grave e por fim, a classe 4 corresponde a um grau de consequência muito grave.

O mapa de consequências permite a visualização espacial das consequências após a ocorrência de galgamentos, associadas à área de estudo.

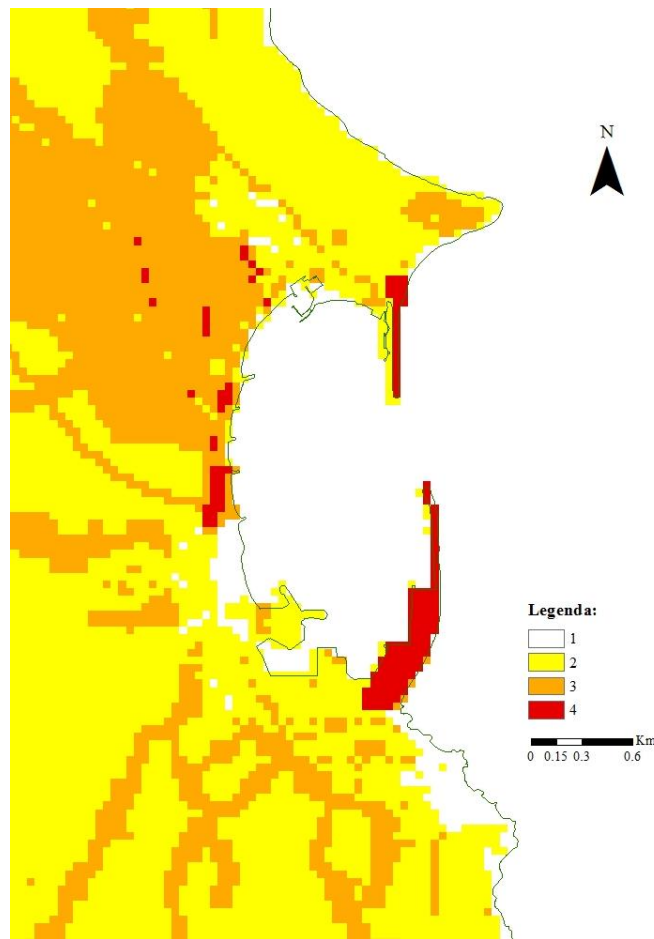


Figura 6.10 – Mapa de consequências obtido pela aplicação da metodologia AHP.

6.3. Aplicação da metodologia *Analytic Network Process*

A metodologia *Analytic Network Process* é uma extensão da metodologia anterior (AHP), distinguindo-se desta por não ter uma estrutura hierárquica e por ser uma técnica que introduz os conceitos de independência, dependência e *feedback* entre os diversos elementos (Saaty, 2005).

Tal como na metodologia AHP, o principal objetivo da aplicação do ANP é contribuir para uma melhor avaliação das consequências de galgamentos sobre estruturas portuárias. Com efeito, utilizaram-se os mesmos critérios e subcritérios e organizou-se o problema em *clusters* (conjunto formado por um critério e os subcritérios que lhe pertencem).

Lembrando que a metodologia AHP assume uma relação hierárquica entre todos os elementos (objetivo, critério e subcritério), a Figura 6.11 apresenta os três tipos de interações entre os elementos que compõem o problema.

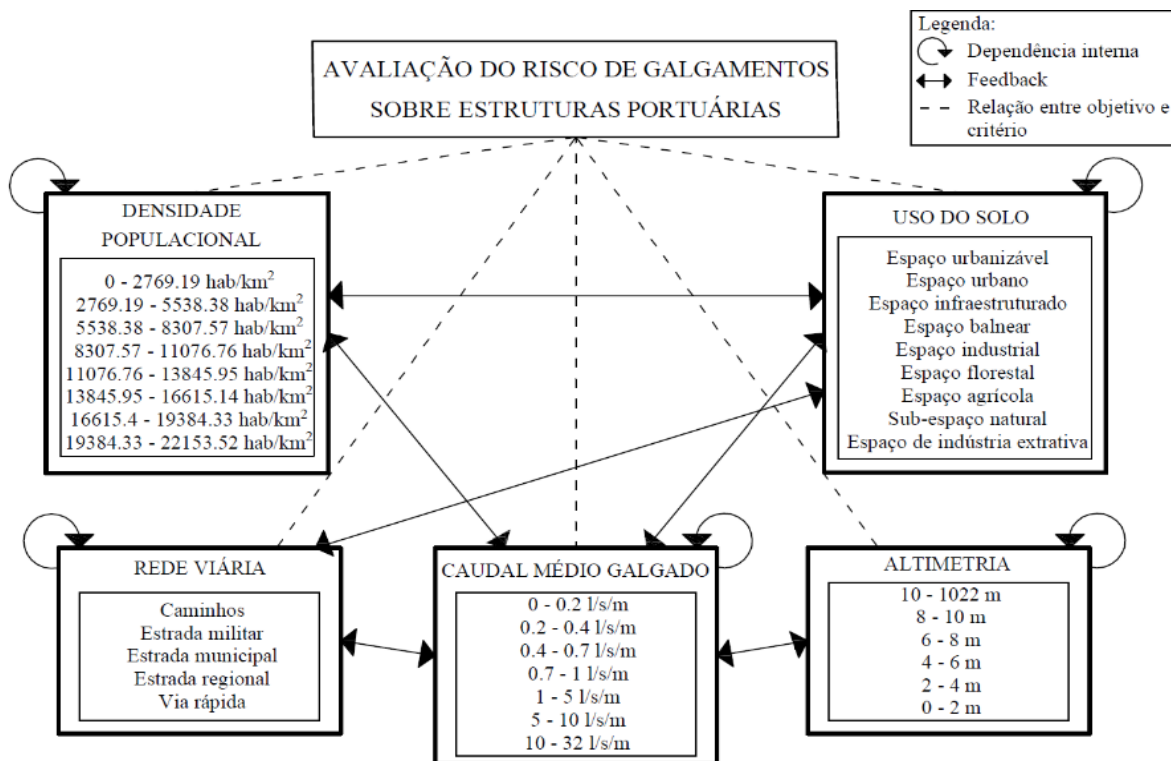


Figura 6.11 – Esquema representativo das dependências e independências de cada um dos subcritérios.

Assim, consideraram-se três tipos de interações:

- Interação entre todos os critérios e o objetivo do problema (dependência externa);
- Interação entre todos os subcritérios pertencentes a cada um dos critérios (dependência interna);
- Interação entre todos os subcritérios pertencentes a todos os critérios (*feedback*).

Conforme o esquema apresentado, define-se a matriz binária, onde se apresentam todas as interações entre subcritérios atrás consideradas: o valor 0 é indicador de não existir relação e o valor 1 o contrário (Quadro H.1, Anexo H).

Correspondendo cada interação a uma matriz de comparação, tem-se:

- Uma matriz de comparação entre todos os critérios que definem o problema, face ao objetivo do mesmo;
- Uma matriz de comparação entre cada conjunto de subcritérios pertencentes a um critério;
- Uma matriz de comparação por cada interação entre um subcritério e todos os outros que constituem o problema.

Como a metodologia ANP é uma extensão da metodologia que foi aplicada anteriormente, as matrizes de comparação definidas nos dois primeiros tópicos anteriores são as mesmas da metodologia AHP (do Quadro 6.7 ao Quadro 6.11).

De acordo com a descrição de todos os subcritérios, a atribuição de pesos a cada um deles dá-se através de um método bastante subjetivo, de opinião pessoal e que pode gerar muita discussão. No presente trabalho, atribuíram-se os pesos dos subcritérios com o auxílio das autoridades locais e junto dos membros do LNEC.

Seguidamente explica-se o preenchimento do último tipo de matriz de comparação, que trata da interação entre um subcritério e todos os outros que constituem o problema.

Utilizou-se a mesma ordem de prioridade aplicada na metodologia AHP e as interações entre subcritérios estabelecidas na matriz binária. Comparou-se cada subcritério com os restantes, atribuindo-se valores que estão inseridos na escala fundamental de Saaty (Quadro 3.4).

Assim, para a formação das várias matrizes considerou-se que:

1. Os subcritérios pertencentes à Densidade populacional dependem dos subcritérios pertencentes ao Uso do solo e Caudal médio galgado:

Quanto maior for a densidade populacional, maiores são os pesos atribuídos para os subcritérios do Uso do solo e Caudal médio galgado (respeitando-se a ordem de prioridade definida inicialmente: *Caudal médio galgado* > *Uso do solo*).

As matrizes de comparação entre o critério Densidade populacional e Uso do solo/Caudal médio galgado apresentam-se do Quadro H.2 ao Quadro H.5, no Anexo H;

2. Os subcritérios pertencentes ao Uso do solo dependem dos subcritérios pertencentes à Densidade populacional, ao Caudal médio galgado e à Rede viária:

Conforme a ordem de prioridade estabelecida entre os subcritérios que compõem o critério Uso do solo, atribuíram-se os pesos aos subcritérios Densidade populacional, Caudal médio galgado e Rede viária (respeitando-se a ordem de prioridade definida inicialmente: *Caudal médio galgado > Densidade populacional > Rede viária*).

As matrizes de comparação entre o critério Uso do solo e Densidade populacional/Caudal médio galgado/Rede viária apresentam-se no Quadro H.6 ao Quadro H.9, no Anexo H;

3. Os subcritérios pertencentes ao Caudal médio galgado dependem dos subcritérios pertencentes à Densidade populacional, ao Uso do solo, à Altimetria e à Rede viária: Quanto maior forem os valores de caudal médio galgado, maiores são os pesos atribuídos para os restantes subcritérios (respeitando-se a ordem de prioridades definida inicialmente: *Densidade populacional > Uso do solo > Altimetria > Rede viária*). As matrizes de comparação entre o critério Caudal médio galgado e Densidade populacional/Uso do solo/Altimetria/Rede viária apresentam-se do Quadro H.10 ao Quadro H.12, no Anexo H;
4. Os subcritérios pertencentes à Altimetria dependem dos subcritérios pertencentes ao Caudal médio galgado:
Quanto menor for a cota do terreno, maior é a possibilidade de ocorrer inundação após os galgamentos e, como tal, maiores são os pesos atribuídos.
As matrizes de comparação entre o critério Altimetria e Caudal médio galgado apresentam-se no Quadro H.13;
5. Os subcritérios pertencentes à Rede viária dependem dos subcritérios pertencentes ao Uso do solo e ao Caudal médio galgado:
Quanto maior for a posição hierárquica das vias em estudo, maiores são as velocidades admissíveis de circulação e como tal, maiores são os pesos atribuídos aos subcritérios em estudo (respeitando-se a ordem de prioridade definida inicialmente: *Caudal médio galgado > Uso do solo*).
As matrizes de comparação entre o critério Rede viária e Uso do solo/Caudal médio galgado apresentam-se do Quadro H.14 ao Quadro H.16, no Anexo H;

Após a formação das matrizes atrás referidas (do Quadro H.2 ao Quadro H.16), determinou-se o vetor próprio de cada uma delas, que representa as influências entre os subcritérios em estudo. Quando não há relação entre subcritérios, o vetor próprio é nulo.

Para cada uma das matrizes de comparação realizou-se o teste de consistência. Caso a Taxa de Consistência, CR, seja inferior a 10% a matriz é considerada consistente; caso contrário a atribuição de pesos deve ser reavaliada. Como se pode observar em todas as matrizes apresentadas no Anexo G, o teste de consistência foi realizado com sucesso.

Posteriormente, preencheu-se a super-matriz, assumindo-se que esta é um sistema onde os elementos existentes (objetivo, critérios e subcritérios) interagem uns com os outros, produzindo interações em todo o sistema. Preencheu-se a super-matriz de acordo com a Equação 3.8:

- M_{21} é o vetor que representa o impacto dos critérios face ao objetivo do problema, apresentada na Equação 3.9;
- M_{32} é definida como uma matriz, composta pelos vetores que representam os impactos dos subcritérios em cada um dos critérios, apresentada na Equação 3.10;
- M_{33} é a matriz, composta pelos vetores que representam as dependências externas entre um subcritério e todos os outros, apresentada na Equação 3.11.

Assim, as sub-matrizes M_{21} , M_{32} e M_{33} são apresentadas nos Quadro H.17, Quadro H.18 e Quadro H.19, respetivamente. A super-matriz apresenta-se no Quadro H.20.

De modo a obter-se uma matriz estacionária e permanente, elevou-se a super-matriz a um número suficientemente grande ($k = 29$), por forma a atingir-se o limite da mesma. Ou seja, a super-matriz limite, M^{29} (Quadro H.21), apresenta todas as suas colunas iguais, com soma igual à unidade, onde se encontram os resultados dos pesos de todos os elementos (critérios e subcritérios).

Para finalizar, os resultados obtidos após a aplicação da metodologia ANP relativos aos pesos dos critérios e subcritérios, apresentam-se na Figura 6.12 e na Figura 6.13 respetivamente.

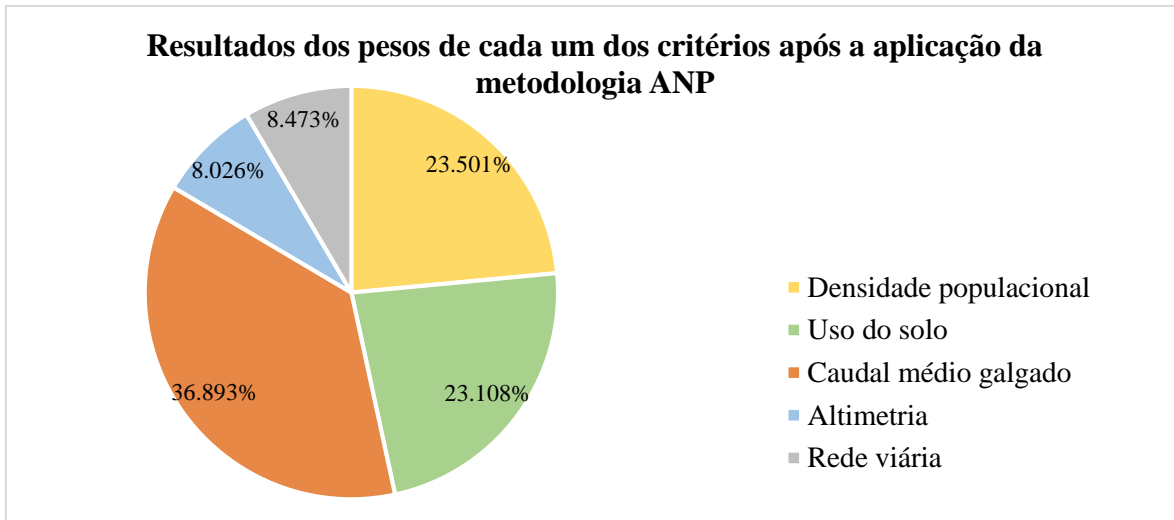


Figura 6.12 – Resultados dos pesos de cada um dos critérios após a aplicação da metodologia ANP.

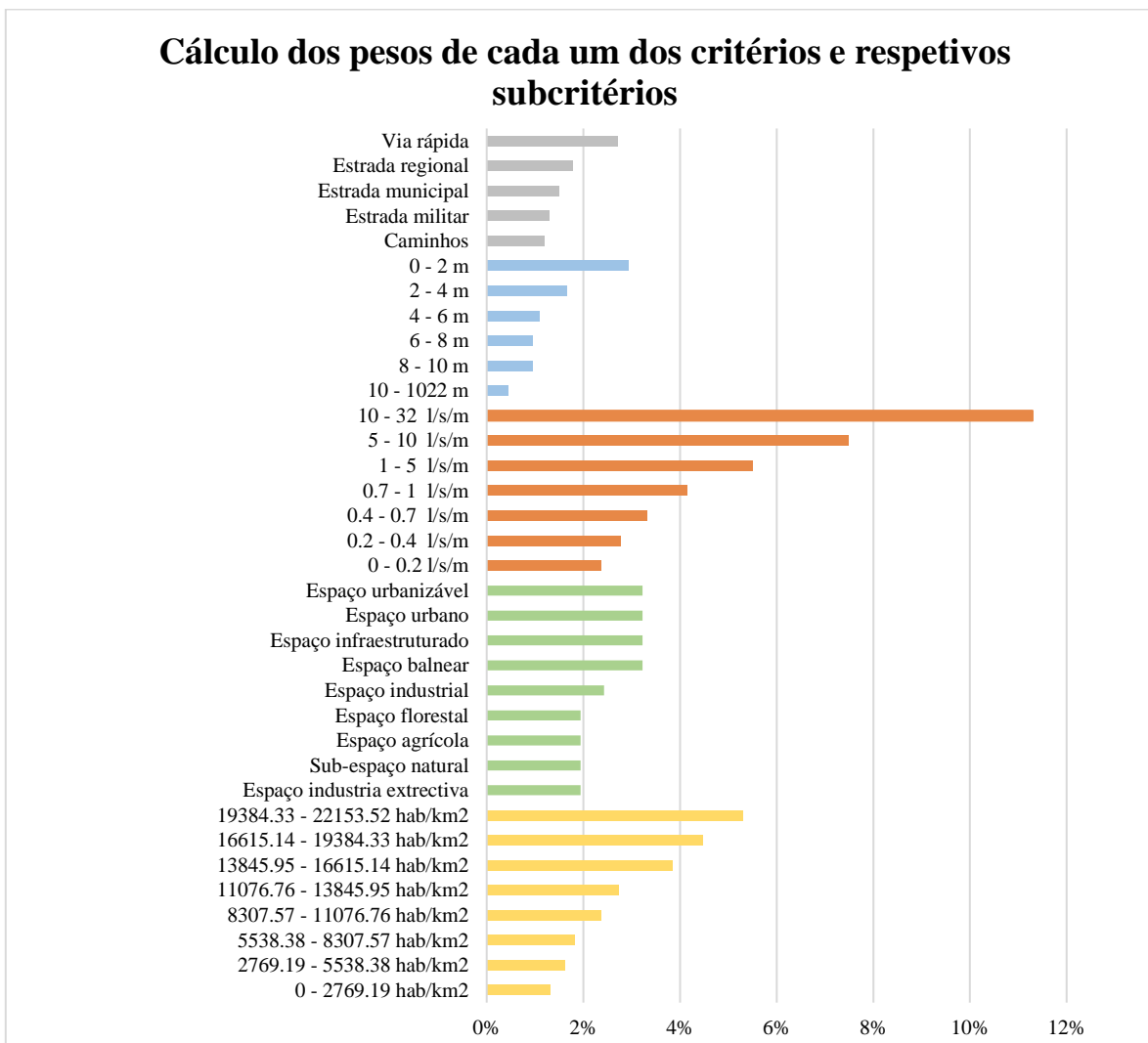


Figura 6.13 – Resultados dos pesos de cada um dos subcritérios após a aplicação da metodologia ANP.

Analisando os pesos obtidos relativamente aos critérios, verifica-se que estão de acordo com a ordem de prioridades estabelecida logo de início: Caudal médio galgado com um peso de $\approx 37\%$, seguido da Densidade populacional com um peso de $\approx 24\%$, Uso do solo com $\approx 23\%$ e por fim, Altimetria e Rede viária com $\approx 8\%$ cada um.

Apesar das percentagens dos dois últimos critérios analisados serem muito próximas (verificando-se um destaque mínimo do critério da Rede viária em relação ao critério da Altimetria), no geral, os pesos obtidos encontram-se mais regularizados.

Relativamente aos pesos dos subcritérios, estes encontram-se de acordo com o previsto: respeitam a ordem de prioridades atribuída inicialmente e estão devidamente regularizados, não se verificando discrepâncias.

Deste modo, constata-se que ambas as metodologias (AHP e ANP) podem ser utilizadas para avaliar as consequências após a ocorrência de galgamentos/inundações. Além disso, os pesos obtidos permitem classificar espacialmente a zona de estudo.

Identifica-se como a grande diferença entre os dois métodos a estrutura em rede do modelo ANP, que permite analisar as relações de dependência entre os elementos, tornando esta metodologia mais vantajosa, pelos resultados mais realistas. No entanto, a metodologia ANP consome muito mais tempo para obtenção de resultados, comparativamente com a metodologia AHP.

Entre vantagens e desvantagens de cada método, ambos requerem determinados conhecimentos e familiaridade com as metodologias, por forma a conseguir-se realizar as suas aplicações e identificar-se as relações entre os elementos que compõem o problema.

6.3.1. Mapa de consequências obtido pela metodologia ANP

A elaboração do mapa de consequências através da aplicação da metodologia ANP (Figura 6.14) foi realizado de acordo com o mesmo procedimento utilizado para o mapa de consequências obtido através da aplicação da metodologia AHP (Anexo H).

Tal como o mapa de consequências executado pela metodologia AHP, também neste, a classe 1 corresponde a um grau de consequências irrelevante, enquanto a classe 4 corresponde a um grau de consequências muito grave.

Os mapas distinguem-se um do outro devido aos diferentes resultados dos pesos obtidos para cada uma das metodologias.

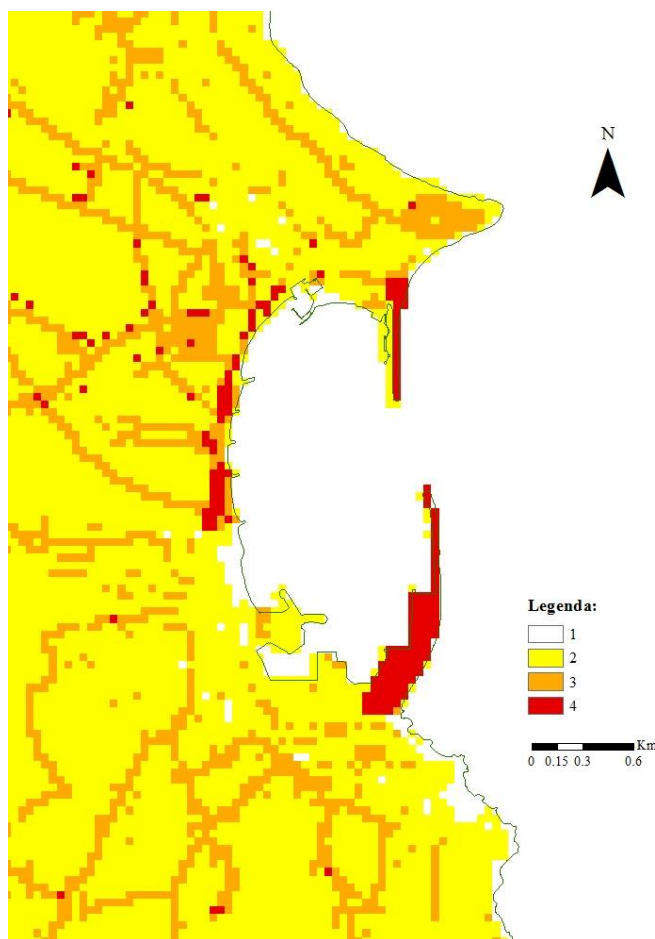


Figura 6.14 – Mapa de consequências obtido pela aplicação da metodologia ANP.

Comparando os dois mapas de consequências obtidos pelas metodologias AHP e ANP, verifica-se:

- Grande diferença entre os dois mapas de consequências, pois a metodologia ANP permite interações entre todos os subcritérios. Com efeito os pesos obtidos pela metodologia ANP estão muito mais uniformizados quando comparados com os pesos obtidos pela metodologia AHP;
- A metodologia ANP destaca os critérios Uso do solo, Altimetria e Rede viária e perdem protagonismo os critérios Densidade populacional e Caudal médio galgado (apesar deste último se manter com o maior peso entre os restantes);

- Em ambos os casos, o centro da vila apresenta um nível de consequência considerável. No entanto, não implica que seja o local com maior risco, pois é uma área com pouca probabilidade de galgamentos/inundações;
- O maior risco concentra-se ao longo dos quebra-mares e defesa frontal, onde é provável que ocorram galgamentos/inundações.

7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. Principais resultados

A presente dissertação teve como principal objetivo avaliar o risco associado à ocorrência de galgamentos de estruturas marítimas existentes no porto da Praia da Vitória, pertencente à Ilha Terceira do Arquipélago dos Açores.

Aplicou-se a metodologia desenvolvida pelo LNEC, que consistiu em três fases.

Na primeira fase caracterizou-se a agitação marítima num período de 34 anos (1979-2013), utilizando-se os modelos WAM para o largo, SWAN para junto à costa e por fim, o modelo DREAMS no interior do porto.

Dos resultados do SWAN, por se ter considerado a existência de refração, verificou-se um decréscimo nos valores de altura significativa, passando a altura significativa máxima de 9.51 m para próximo de 6 m. Também se verificou uma rotação nas direções de onda, uma vez que o fenómeno de refração faz com que as ondas fiquem perpendiculares à batimetria local. Além disso, como a baía em estudo está orientada a este, obtiveram-se direções de onda predominantes no quadrante norte-este. O período de onda não sofreu grandes alterações.

Junto às estruturas marítimas, foi estudada caracterizada a agitação marítima para dez pontos (pontos D1 – D10) distribuídos pelo porto e baía em estudo. Devido aos fenómenos de refração e difração, a altura significativa diminuiu em todos os pontos interiores, comparativamente com os resultados do SWAN, que foram obtidos na entrada do porto. Também se verificaram alterações de direção de onda, relativamente às obtidas pelo modelo SWAN. É claro que essas alterações nas direções são função da localização dos pontos (alguns pontos estão protegidos pelos quebra-mares).

Por outro lado, os pontos exteriores ao porto mantêm valores elevados de altura significativa, pois o declive da batimetria é semelhante ao ponto estudado pelo modelo anterior, e as direções de onda predominam a nordeste. O período de onda, independentemente do ponto em estudo, não apresenta quaisquer variações, variando entre 4 a 17 s (trata-se de uma limitação do modelo DREAMS, pois este apenas resolve ondas monocromáticas).

Na segunda fase determinaram-se os galgamentos através da utilização da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 em cada um dos pontos considerados no modelo DREAMS. Assim, foram estudados 10 tipos de perfis de estruturas marítimas, incluindo os perfis da defesa frontal que protege toda a via circundante da baía (D1, D2, D4, D5, D6 e D7), três trechos do quebra-mar sul (D3, D8 e D10) e, por fim, vem o trecho do quebra-mar norte (D9). Verificaram-se valores mais elevados de caudais médios galgados nos pontos D8 e D10, pertencentes ao quebra-mar sul, com valores de ≈ 17 l/s/m e ≈ 32 l/s/m, respetivamente. Ambos os caudais foram obtidos no dia 27 de fevereiro de 2005, com alturas significativas de ≈ 6 m e direções vindas de nordeste. Apesar do ponto D3 também pertencer ao quebra-mar sul, não obteve uma percentagem de galgamento tão alta devido à existência de um defletor de onda na superestrutura. Assim, o valor máximo de caudal médio neste ponto foi de ≈ 3 l/s/m no dia 2 de março de 1984. Relativamente aos pontos pertencentes à defesa frontal (D1, D2, D4, D5, D6 e D7), estes não apresentaram um número elevado de eventos de galgamento, nem caudais médios significativos, pois são os pontos mais protegidos da agitação marítima. O ponto D9 pertence ao quebra-mar norte e como tal, esperar-se-ia que os seus valores máximos de caudais médios galgados fossem semelhantes aos pontos D8 e D10. No entanto, o ponto D9 encontra-se protegido da agitação marítima proveniente de direções compreendidas entre norte e este, devido à existência da Ponta da Má Merenda. Assim, registou-se um caudal médio máximo de ≈ 7 l/s/m, no dia 24 de janeiro de 2007, com uma altura significativa de ≈ 6 m direção de $\approx 96^\circ$ N. Com efeito, o ponto D9 regista os caudais médios máximos quando as respetivas ondas têm direções compreendidas entre este e sul, enquanto que o ponto D10 regista os caudais máximos quando as suas ondas têm direções compreendidas entre norte e este.

Por fim, com os resultados obtidos pelo NN_OVERTOPPING2, conseguiram-se identificar quatro tempestades que ocorreram realmente na Praia da Vitória, sendo elas: tempestade de 1984 que ocorreu antes do quebra-mar sul do porto ser construído; a tempestade de dezembro de 2001, que destruiu praticamente os quebra-mares da Praia da Vitória; a tempestade de fevereiro de 2005, que obrigou a paragem da reconstrução do quebra-mar sul, e por fim, a tempestade de janeiro de 2007 onde se verificaram galgamentos.

Assim, ao comparar os resultados dos galgamentos calculados pela ferramenta neuronal com os registos existentes de eventuais tempestades, é possível mostrar a capacidade da ferramenta para prever episódios de galgamentos relevantes.

Na terceira e última fase, avaliou-se o risco de ocorrência de galgamentos em estruturas portuárias através da metodologia simples desenvolvida pelo LNEC e por duas metodologias de análise multicritério: *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Analytic Network Process* (ANP).

Relativamente ao cálculo da probabilidade de ocorrência do fenómeno de galgamento (metodologia simples) a maioria dos pontos, estudados anteriormente, apresentaram probabilidade de ocorrência improvável para a maioria dos sectores, com a exceção dos pontos D2 e D4, perfis da defesa frontal, que apresentam probabilidade de ocorrência raro para o sector “Pessoas”.

A atribuição do grau de consequências é mais complicada, por faltar informação sobre os prejuízos causados pelos maiores valores de caudal médio galgado sobre os pontos mais próximos da vila da Praia da Vitória.

O mapa de consequências resultante do método expedito permite concluir que o risco de galgamento é reduzido para a maioria das seções analisadas, menos nas seções pertencentes aos quebra-mares e ao ponto D2, que é indesejável.

O AHP e o ANP são métodos amplamente reconhecidos para a resolução de problemas para a tomada de decisão e foram escolhidos por considerarem as relações entre os critérios de decisão e os respetivos subcritérios, por serem de fácil compreensão e por não exigirem o uso de *software*.

Distinguem-se por o AHP analisar os problemas a partir de uma estrutura hierárquica e o ANP a partir de uma estrutura em rede (apresenta maior complexidade por considerar interações entre todos os subcritérios). Testou-se a aplicabilidade e utilidade de cada um dos métodos de apoio à tomada de decisão.

De forma a poder-se comparar os resultados das duas metodologias, foram selecionados os mesmos critérios: Densidade populacional, Uso do solo, Caudal médio galgado, Altimetria e Rede viária, e os respetivos subcritérios. É de notar que se utilizaram os valores de caudal médio galgado obtidos pela ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2, identificando-se os

locais correspondentes a cada uma das estruturas marítimas, associados a cada gama de valores de caudal. Os restantes subcritérios foram identificados de acordo com o PDM da Praia da Vitória ou outros registos.

Analisando os pesos obtidos pelas metodologias AHP e ANP relativamente aos critérios, estes estão de acordo com a ordem de prioridades estabelecida logo de início: Caudal médio galgado > Densidade populacional > Uso do solo > Altimetria > Rede viária.

No entanto, os pesos dos subcritérios obtidos pela metodologia AHP não estão totalmente de acordo com o esperado, que seriam valores com uma distribuição mais uniformizada. Os subcritérios pertencentes ao Uso do solo não apresentam grande relevância comparativamente com os subcritérios pertencentes à Altimetria e Rede viária. Contudo, os pesos dos subcritérios obtidos pela metodologia ANP respeitam a ordem de prioridades atribuída inicialmente e estão devidamente regularizados.

O ponto fraco do AHP é tratar o problema de uma forma hierárquica, não permitindo a interação entre todos os subcritérios, ao contrário do ANP cujos resultados são mais satisfatórios. Por outro lado, o ANP apresenta como grande desvantagem o tempo consumido para a obtenção de resultados.

Entre vantagens e desvantagens de cada método, ambos requerem determinados conhecimentos e familiaridade com as respetivas metodologias.

Após o tratamento de dados no *software* ArcGIS, introduziram-se os pesos obtidos em cada uma das metodologias e obtiveram-se os mapas de consequências aquando a ocorrência de galgamentos na Praia da Vitória. Os mapas de consequências permitem a visualização espacial das consequências após a ocorrência de galgamentos, associadas à área de estudo.

Nota-se uma grande diferença entre os dois mapas de consequências, pois os pesos obtidos pela metodologia ANP estão muito mais uniformizados comparados com os pesos obtidos pela metodologia AHP. Assim, na metodologia ANP destacam-se os critérios Uso do solo, Altimetria e Rede viária e perdem protagonismo relativo os critérios Densidade populacional e Caudal médio galgado (apesar deste último se manter com o maior peso entre os restantes).

Em ambos os casos, o centro da vila apresenta um nível de consequências considerável; porém, não implica que seja o local com maior risco, visto ser uma área com pouca probabilidade de galgamentos/inundações. Por outro lado, o maior risco concentra-se ao

longo dos quebra-mares e defesa frontal, onde é provável que ocorram galgamentos/inundações.

É possível verificar que através da uniformização de pesos pela metodologia ANP, não se desvalorizam aspetos que podem vir a sofrer grandes impactos aquando a ocorrência de galgamentos.

7.2. Sugestões para trabalhos futuros

Como trabalho futuro seria desejável realizar um levantamento topográfico de todo o perímetro do porto de modo a obter-se perfis atuais.

Para complementar os mapas de consequências, também seria interessante desenvolver fórmulas empíricas para avaliação da área inundada, de modo a identificarem-se áreas suscetíveis a inundações, após a ocorrência de galgamentos. Agregando o desenvolvimento de fórmulas empíricas para a avaliação da área inundada com uma melhor caracterização do local de estudo, seria pertinente desenvolver os respetivos mapas de inundação, associados a períodos de retorno de ocorrência de tempestades.

Para se melhorar os resultados de ambas as metodologias utilizadas no presente trabalho, AHP e ANP, deveriam ser implementados mais critérios e subcritérios, incluindo algum que tivesse em consideração os efeitos das alterações climáticas (cenários futuros).

Sugere-se também o desenvolvimento e aplicação de outras metodologias para avaliação das consequências após a ocorrência de galgamentos, que permitem incluir juízos coletivos, como a metodologia *Soft Systems Methodology* (SSM).

Seria interessante, também, construir uma tabela de consequências após a ocorrência de galgamentos, incluindo uma análise dos custos inerentes aos estragos obtidos, bem como a monitorização do risco associado a cada uma dessas consequências. A monitorização do risco é fundamental para minimizar a probabilidade de ocorrência de galgamentos e posteriores inundações, que por sua vez, melhoram as condições de segurança de pessoas e bens. Com efeito, é necessário aplicar medidas que promovam a dissipação da energia da onda e/ou alterar a geometria do talude.

Por fim, ampliar as áreas de estudo da metodologia de avaliação do risco e estender a aplicação dessa metodologia a zonas sem estrutura de proteção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, O. (2012). Análise Multicritério em SIG para Determinação de um Índice Especializado de Pressão Antrópica Litoral. Caso de Espinho, Caparica e Faro. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território: FCSH, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Betâmio de Almeida, A. (2011). Risco e gestão do risco. Questões filosóficas subjacentes ao modelo técnico conceptual. *Territorium Journal of the Riscos* 18, 23-31.
- Booij, N., Ris, R. C., & Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geographical Research*, 104 (C4), 7649-7666.
- Booth, B., & Mitchell, A. (2001). Getting started with ArcGIS. GIS by ESRI: Redlands, USA.
- Brito, S. (2007). Estudo do galgamento em estruturas marítimas. Dissertação de Mestrado: Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa.
- Carvalho, M., Pita, C., & Silva, L. (1983). Porto de Praia da Vitória. Estudo em modelo reduzido do quebra-mar sul. Ensaio de estabilidade da cabeça. Rel 31/84 - NPP, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- Coeveld, E. M., Van Gent, M. R. A., & Pozueta, B. (2005). Neural network manual: NN_OVERTOPPING 2. CLASH: WP8, WL/Delft Hydraulics, Delft.
- Flatter, D. (1998). XTide Manual: Harmonic tide clock and tide predictor. E.U.A.
- Fortes, C. J. (1993). Modelação matemática da refração e difração combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos). Dissertação de Mestrado em Eng. Mecânica: Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa.
- Fortes, C. J. (2002). Transformações não-lineares de ondas marítimas em zonas portuárias (Análise pelo Método dos Elementos Finitos). Dissertação de Doutoramento em Eng. Mecânica: Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa.
- Fortes, C. J. E. M.; Reis, M. T.; Poseiro, P.; Capitão, R.; Santos, J. A.; Pinheiro, L. P.; Rodrigues, A.; Sabino, A.; Rodrigues, M. C.; Rapoeiro, P.; Ferreira, J. C.; Silva, C.;

- Simões, A.; Azevedo, E. B. (2014a). HIDRALERTA Project - A Flood Forecast and Alert System in Coastal and Port Areas. IWA - World Water Congress and Exhibition, Lisboa.
- Fortes, C. J. E. M.; Reis, M. T.; Poseiro, P.; Santos, J. A.; Capitão, R.; Pinheiro, L.; Sabino, A.; Rodrigues, A.; Ferreira, J. C.; Martinho, S.; Raposeiro, P.; Silva, C.; Simões, A.; Azevedo, E. B.; Rodrigues, M. C. (2014b). Desenvolvimentos Recentes do HIDRALERTA - Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias. 3as. Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa.
- Fortes, C. J. E. M.; Reis, M. T.; Poseiro, P.; Santos, J. A.; Garcia, T.; Capitão, R.; Pinheiro, L.; Reis, R.; Craveiro, J.; Lourenço, I.; Lopes, P.; Rodrigues, A.; Sabino, A.; Araújo, P.; Ferreira, J. C.; Silva, S. F.; Raposeiro, P.; Simões, A.; Azevedo, E.; Reis, F.; Rodrigues, M. C.; Silva, C. P. (2015). Ferramenta de apoio à gestão costeira e portuária: o sistema Hidralerta. VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa: Aveiro.
- Fortes, C. J. E. M.; Reis, R.; Reis, M. T.; Poseiro, P.; Craveiro, J.; Santos, J. A. (2014c). Aplicação do Sistema HIDRALERTA na Avaliação do Risco associado ao galgamento no Porto da Praia da Vitória. III Congresso Internacional, I Simpósio Ibero-Americano e VIII Encontro Nacional de Riscos, Guimarães.
- Garcia, Tiago; Reis, Maria Teresa; Poseiro, Pedro; Fortes, Conceição Juana; Lopes, Pedro; Lourenço, Inês; Azevedo, Eduardo; Rodrigues, Maria da Conceição. (2016). Previsão e validação de galgamentos oceânicos no sistema HIDRALERTA. 13.º Congresso da Água: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- Görener, A. (2012). Comparing AHP and ANP: An Application of Strategic Decisions Making in a Manufacturing Company. *International Journal of Business and Social Science*, 3 (11), 194-208.
- Hasselmann, S; Hasselmann, K; Janssen, P A E M; Bauer, E; Komen, G J; Bertotti, L; Lionello, P; Guillaume, A; Cardone, V C; Greenwood, J A. (1988). The WAM model - A third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography* 18, 1775–1810.
- Hidrográfico, I. (2016). Tabelas de Marés, Capítulo 3. Portugal.

- Mariz, M. S. (2012). Modelação Numérica do Galgamento em Estruturas Marítimas Porosas. Dissertação de Mestrado em Eng. Civil: Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa.
- Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T. S., & Reis, M. T. (2013). Wave runup and overtopping at seawalls built on land and in very shallow water. *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.* 139, 346-357.
- 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 de Gestão Costeira Integrada*, 12 (3), 291-312.
- NP ISO 31000:2013. (s.d.). Gestão do risco. Princípios e linhas de orientação.
- Pereira, D. (2013). Avaliação do Risco de Galgamento de Estruturas Portuárias – o caso do Porto de Ponta Delgada (Açores, Portugal). Dissertação de Mestrado em Eng. Civil: Universidade da Madeira, Funchal.
- Pinheiro, L., Santos, J., Fortes, C., & Capitão, R. (2007). SOPRO - Pacote integrado de modelos para avaliação dos efeitos das ondas em portos. *Revista da Tecnologia da Água*, Edição I.
- Pinto, F. T., & Neves, A. C. (2003). A Importância da Consideração do Carácter Irregular da Agitação Marítima no Dimensionamento de Quebramares de Taludes. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto.
- Pita, C. (1986). Dimensionamento hidráulico do manto resistente de quebra-mares de talude. Memória nr. 670: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- Poseiro, P. (2013c). Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias. Procedimentos para a execução do sistema HIDRALERTA: Desenvolvimento de aplicações em Python. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- Poseiro, P., Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Santos, J. A., Simões, A., Rodrigues, C., & Azevedo, E. (2013a). A methodology for overtopping risk assessment in port areas: Application to the Port of Praia da Vitória (Azores, Portugal). *International*

Conference on Applied Coastal Research: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.

Poseiro, P., Fortes, C. J. E. M., Santos, J. A., Reis, M. T., & Craveiro, J. (2013b). Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) à análise das consequências de ocorrência de galgamentos. O caso da Praia da Vitória. 8as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.

Pullen, T., Allsop, N. W. H., Bruce, T., Kortenhuis, A., Schüttrumpf, H., & Van der Meer, J. W. (2007). EurOtop – Wave overtopping of sea defences and related structures: Assessment manual. Netwerk Waterkeren, NL, Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, DE, Environment Agency, UK, Exper.

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. Ilha da Boavista, Cabo Verde: VI Congresso sobre Planeamento e Gestão de Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa.

Reis, M., Poseiro, P., Fortes, C., Conde, J., Didier, E., Sabino, A., & Grueau, M. (2014). Chapter 102 - Risk Management in Maritime Structures. Em J. Xu, V. Cruz-Machado, B. Lev, & S. Nickel, Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management (pp. 1179-1190). Springer, Verlag Berlin Heidelberg.

Rocha, T. (2012). Avaliação do Galgamento de Estruturas Portuárias – Aplicação ao Porto da Praia da Vitória, Açores. Dissertação de Mestrado em Eng. Civil: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto.

Rocha, T. S., Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Santos, J. A., Neves, D., Portela, L., & Pinto, F. T. (2013). Avaliação comparativa do risco de galgamento na Praia da Vitória, Terceira, Açores. Vetor-Revista de Ciências Exatas e Engenharias, 23(1), 104-120.

Rocha, T., Reis, M. T., Fortes, C. J. E. M., Santos, J. A., Neves, D., Portela, L., & Pinto, F. T. (2012). Influência da Variação de maré na avaliação do risco de galgamento na baía da Praia da Vitória, Terceira, Açores. 7as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto.

- Rodrigues, J. R. (2014). Avaliação do risco e aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) na avaliação das consequências de galgamento em zonas costeiras e portuárias. Dissertação de mestrado em Eng. Civil: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGrawHill: New York, USA.
- Saaty, T. L. (1996). *Decision making with dependence and feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications: Pittsburgh, PA, USA.
- Saaty, T. L. (2003). Why the magic number seven plus or minus two? *Mathematical and Computer Modeling*, No. 38, 233-244.
- Saaty, T. L. (2004). Fundamentals of the Analytic Network Process – Dependence and feedback in decision-making with a single network. *Journal of Systems Science Engineering*, 13 (2), 129-157.
- Saaty, T. L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. RWS Publications: Pittsburgh, PA, USA.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2006). *Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*. Springer: New York, USA.
- Santos, J. R. (2011). Aplicação de uma metodologia para a avaliação do risco para a navegação e galgamento no porto de Praia da Vitória. in *7.as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, AIPCN/PIANC, Porto.
- Silva, L. (2011). Observação sistemática de obras marítimas da região autónoma dos Açores. Porto da Praia da Vitória – Ilha Tereceira. Campanha de observação visual efetuada em 2011. NPE, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- Team, S. (2006). *SWAN technical documentation*. Delft University of Technology: The Netherlands.

Sites web:

[1]http://www.vandermeerconsulting.nl/downloads/risk_assessment/2008_all sop_bruce.pdf acedido em março de 2016.

[2]<http://www.fct.unl.pt/sites/default/files/documentos/noticias/fct-na-imprensa/diarioinsular-galgamentos-151217.pdf> acedido em março de 2016.

[3] <http://acores-ilhas-portugal.blogspot.pt/2008/10/historia-completa-acores-portugal.html> acedido em março de 2016.

[4] <https://www.guiadacidade.pt/pt/distrito-ilha-terceira-43> acedido em março de 2016.

[5] <https://www.guiadacidade.pt/pt/concelho-praia-da-vitoria-02-43> acedido em março de 2016.

[6] <http://thoth3126.com.br/piramide-submersa-encontrada-nos-acores/> acedido em março de 2016.

[7]http://websig.hidrografico.pt/content/Documentacao/jornadas_2014/apresentacoes/desenvolvimentos-recentes-hidralerta.pdf acedido em março de 2016.

[8]<https://www.facebook.com/portopraiaavitoria/photos/a.831470506889150.1073741837.161645823871625/851375998231934/?type=3&theater> acedido em março de 2016.

[9]<http://www.cmpv.pt/turismo/index.php?op=textos&codmaster=4&codcat=12> acedido em março de 2016.

[10] <http://osrikinhus.blogspot.pt/2011/08/baia-da-praia-da-vitoria.html> acedido em março de 2016.

[11]<http://www.climaat.angra.uac.pt/documentos/PDF/Relatorio%20resumo%20-%20Tempestade%20de%2026-27%20de%20Fevereiro%20de%202005.pdf> acedido em março de 2016.

[12]<http://oportodagradosa.blogspot.pt/2010/11/pontencialidades-do-porto-da-praia-da.html> acedido em março de 2016.

[13]<http://www.tpfplanege.pt/pt/terminal-na-praia-da-vitoria-cimentacor-c-292-5-186-15-6-89.html> acedido em março de 2016.

[14]http://navios3.rssing.com/chan-9613938/all_p21.html acedido em março de 2016.

- [15]<https://avesdosazores.wordpress.com/onde-observar/terceira/porto-de-pesca-da-praia-da-vitoria/> acedido em março de 2016.
- [16]<http://marinas.visitazores.com/marinas/praiada-vitoria/> acedido em março de 2016.
- [17]<https://www.google.pt/maps> acedido em março de 2016.
- [18]http://arquivo.auniao.com/ficheiros/jornais/231_2/00000415.pdf acedido em março de 2016.
- [19]<http://www.proconvergencia.azores.gov.pt/exposicao%20terceira%202.html> acedido em março de 2016.
- [20]<http://rgraciosa.blogspot.pt/2006/09/furaco-gordon-atravessou-os-aores-em.html>. acedido em março de 2016.
- [21]http://www.rtp.pt/noticias/pais/situacao-de-caos-provocada-por-fortes-chuvas_n303156 acedido em março de 2016.
- [22]<http://oportodagraciosa.blogspot.pt/2010/01/dia-de-ano-novo-com-forte-ondulacao.html>. acedido em março de 2016.
- [23]<http://oportodagraciosa.blogspot.pt/2010/01/dia-de-ano-novo-com-forte-ondulacao.html> acedido em março de 2016.
- [24]http://www.rtp.pt/acoresh/economia/mar-bravo-volta-a-condicionar-operacao-no-porto-da-praia-da-vitoria-video_18806 acedido em março de 2016.
- [25]<http://www.diarioinsular.com/version/1.1/r16/?cmd=noticia&id=44984> acedido em março de 2016.
- [26]https://www.youtube.com/watch?v=eFZ-CENG6_w acedido em março de 2016.
- [27]http://www.rtp.pt/noticias/pais/tempestade-tropical-coloca-portugal-sob-alerta-de-mau-tempo_v864493 acedido em março de 2016.
- [28]http://www.rtp.pt/noticias/pais/tempestade-tropical-coloca-portugal-sob-alerta-de-mau-tempo_v864493 acedido em março de 2016.
- [29]http://economico.sapo.pt/noticias/furacao-alex-passa-a-tempestade-tropical_239830.html acedido em março de 2016.
- [30]<http://www.ecmwf.int/> acedido em março de 2016.

[31]<http://www.baird.com/what-we-do/project/azores-breakwater-repair> acedido em março de 2016.

[32]<http://spatialreference.org> acedido em junho de 2016

[33]<http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml> acedido em junho de 2016

ANEXOS

ANEXO A – Procedimento de execução do modelo SWAN

ANEXO B – Resultados do modelo SWAN

ANEXO C – Procedimento de execução do modelo DREAMS

ANEXO D – Resultados do modelo DREAMS

ANEXO E – Procedimento de execução da ferramenta NN_OVERTOPPING2

ANEXO F – Resultados da ferramenta NN_OVERTOPPING2

ANEXO G – Procedimento de execução da ferramenta ArcGIS

ANEXO H – Resultados da metodologia *Analytic Network Process* (ANP)

ANEXO A – Procedimento de execução do modelo SWAN

Pinheiro et al. (2007) desenvolveu uma interface gráfica em Microsoft Access para criar os ficheiros de dados para o SWAN. Contudo, a Figura A.1 apresenta sucintamente as principais etapas que constituem o procedimento referido.

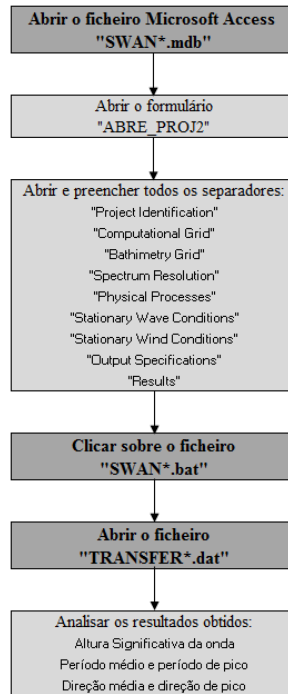


Figura A.1 – Esquema do procedimento de execução do SWAN.

De seguida será apresentado o procedimento para execução do modelo SWAN.

1. Abrir o ficheiro Microsoft Access do "SWAN*.mdb".
2. Abrir o formulário "ABRE_PROJ2" e seleccionar projeto (Figura A.2).

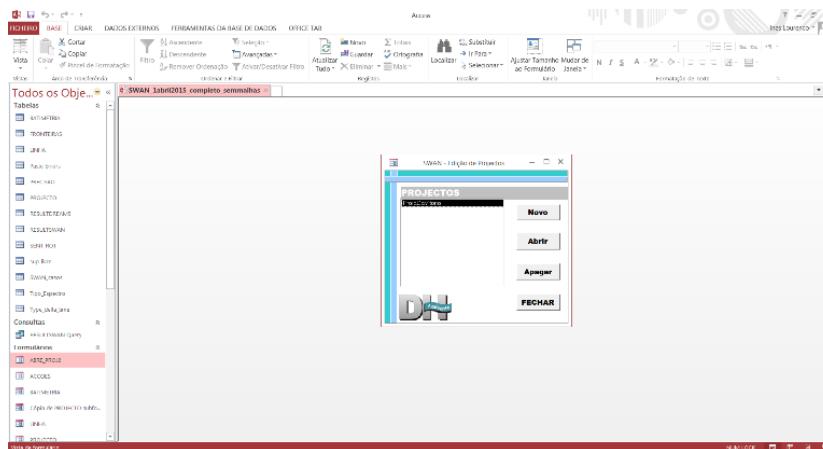


Figura A.2 – Janela para seleccionar o projeto.

3. Corrigir o erro “Compile error: The code in this project must be updated for use on 64-bit systems. Please review and update Declare statements and then mark them with the PtrSafe attribute.” (Figura A.3).

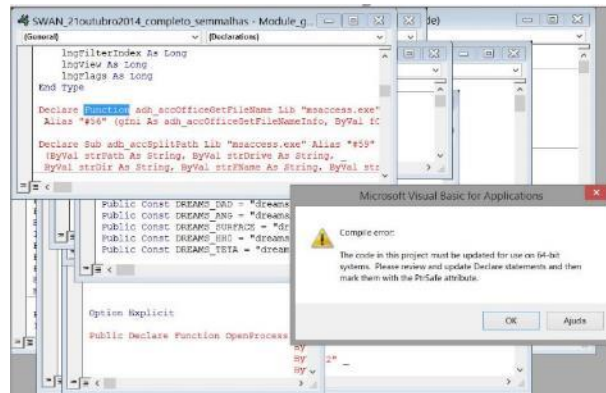


Figura A.3 – Erro de compilação.

4. Preencher o primeiro separador “Project Identification” (Figura A.4).

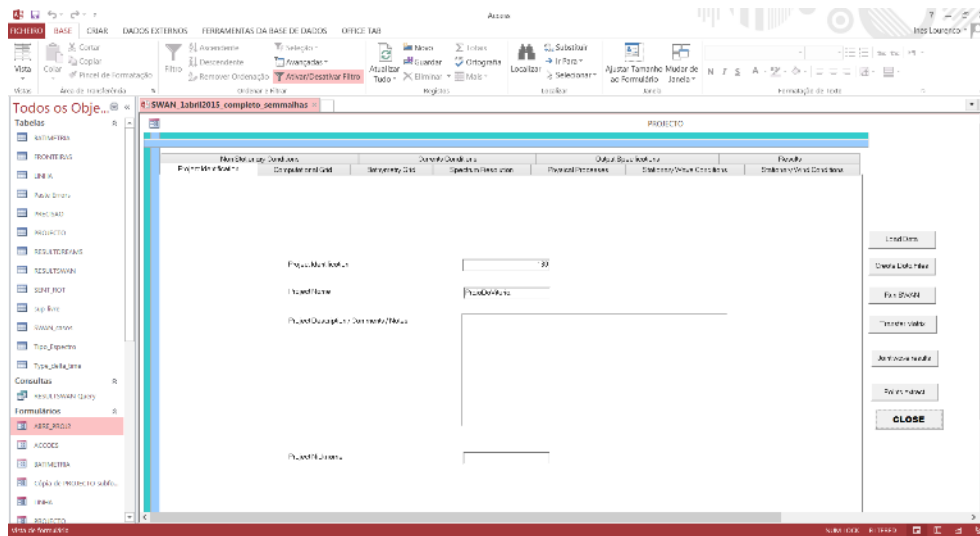


Figura A.4 – Identificação do projeto.

5. Abrir o separador “Computational Grid”, selecionar a opção “yes” para “Nested grid” e “Nested grid_1”. No mesmo separador, definir o “lower left XY” de cada uma das malhas, bem como o seu comprimento em x e em y e ainda o espaçamento entre os pontos, DX e DY (Figura A.5).

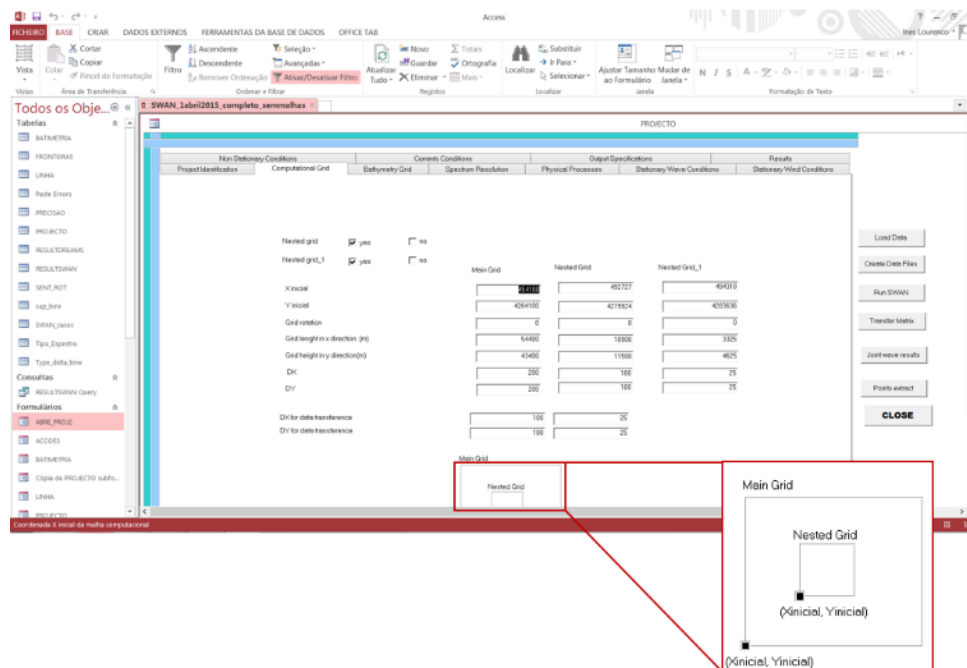


Figura A.5 – Seleção das malhas a considerar e definição dos parâmetros que definem cada uma delas.

A Figura A.6 apresenta as 3 malhas computacionais consideradas pelo SWAN, com dimensões diferentes. Pretende-se correr o modelo para uma dimensão suficientemente grande, de forma a abranger a área de estudo e assim, “aliviar” o processamento da informação aquando da execução dos modelos (as malhas mais pequenas têm maior resolução).

Após a execução do modelo SWAN é possível a visualização dos seus resultados para cada uma das suas malhas e, especificamente, para os três pontos P1, P2 e P3 apresentados no Quadro A.1. Estes pontos foram selecionados de modo a constituir as condições de fronteira para o modelo DREAMS.

Quadro A.1 - Pontos utilizados no SWAN

Pontos SWAN	Latitude (°N)	Longitude (°N)	Cota (m ZH)
P1	495530	4286288	19.40
P2	496098	4286325	37.29
P3	498580	4289218	-99.00

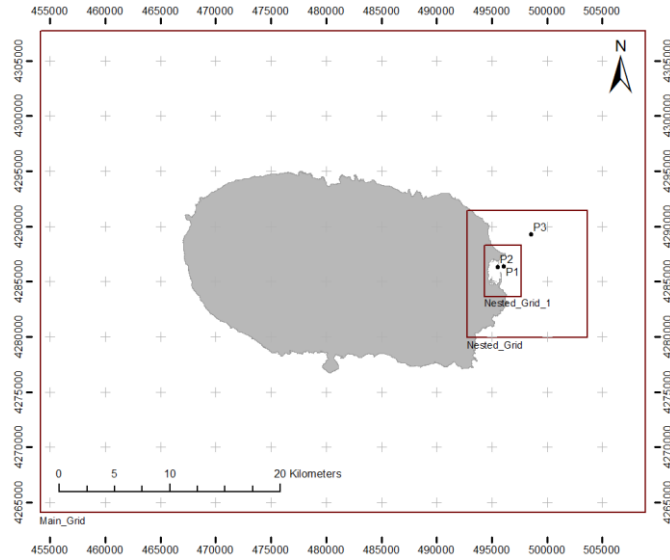


Figura A.6 – Malhas computacionais do SWAN.

6. Abrir o separador “Bathymetry Grid” e definir “Extent” para a malha batimétrica. Indicar a coordenada do “lower left” XY, o comprimento em x e em y e ainda o espaçamento entre os pontos DX e DY (Figura A.7 e Figura A.8).

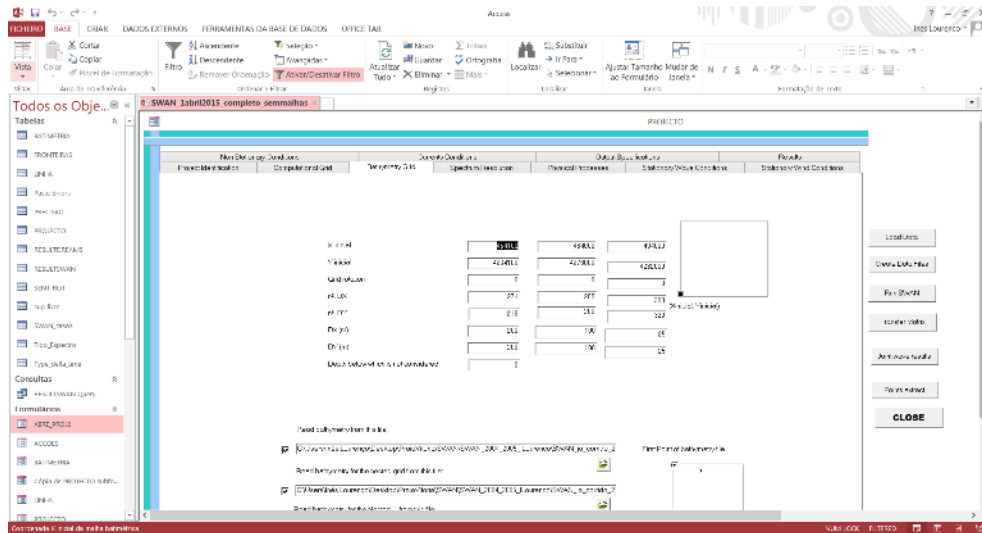


Figura A.7 – Configuração dos parâmetros que definem as batimetrias.

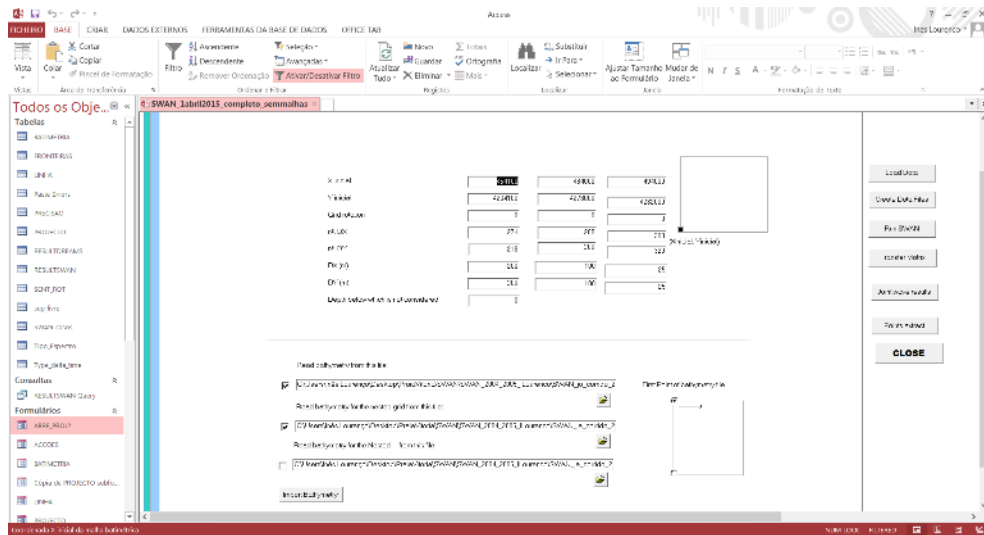


Figura A.8 – Seleção das diretorias das batimetrias.

7. Abrir o separador “Spectrum Resolution” e definir o “Directional resolution” para “Circle”, o que induz que as direções espectrais cobrem todo o círculo (360°) e dividida em 24 intervalos. Seguidamente, preenche-se a frequência mínima de 0.04 Hz, a máxima de 0.5 Hz e o número de intervalos na frequência de 25, pretendendo-se que o integral do espectro entre frequências consecutivas tenha o mesmo valor. É igualmente necessário definir a forma do espectro a utilizar, tanto em frequência como em função, na fronteira da “Computational Grid”. Define-se o espectro com o tipo “JONSWAP”, com representação do período de pico e a direção em graus (Figura A.9).

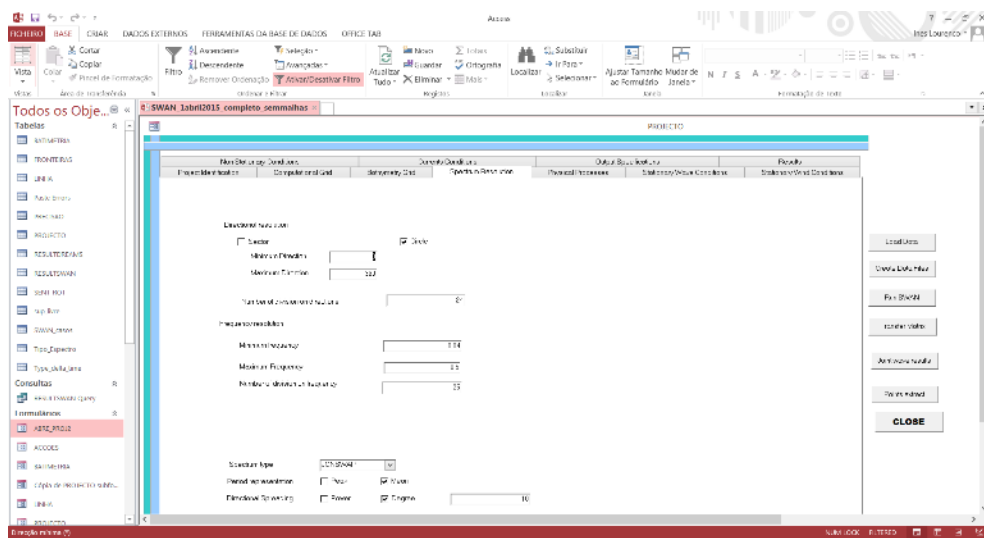


Figura A.9 – Configuração da resolução do espectro.

8. Abrir o separador “Physical Processes” e definir os fenómenos a ter em conta em cada uma das malhas. Mais uma vez, é escolhido o tipo de espectro de “JONSWAP” (Figura A.10).

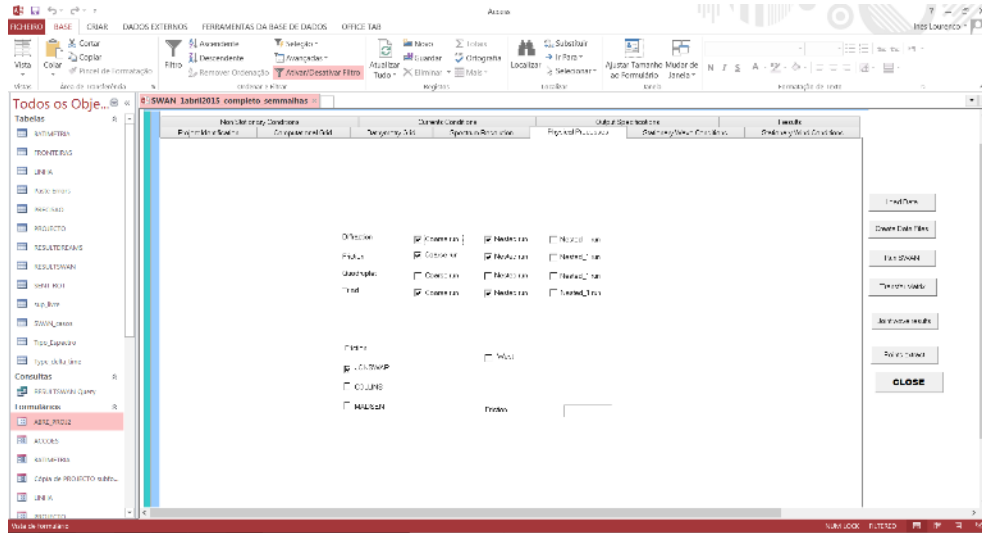


Figura A.10 – Definição dos fenómenos a ter em conta em cada uma das malhas.

9. Abrir o separador “Stationary Wave Conditions” e definir quais as fronteiras a partir de onde são aplicadas as condições de fronteira (Figura A.11). Ainda no mesmo separador, é indicada a diretoria do ficheiro com as condições de agitação ao largo, fornecidas pelo WAM (Figura A.12). O ficheiro que contém as condições de agitação marítima na fronteira tem a estrutura apresentada na Figura A.13.

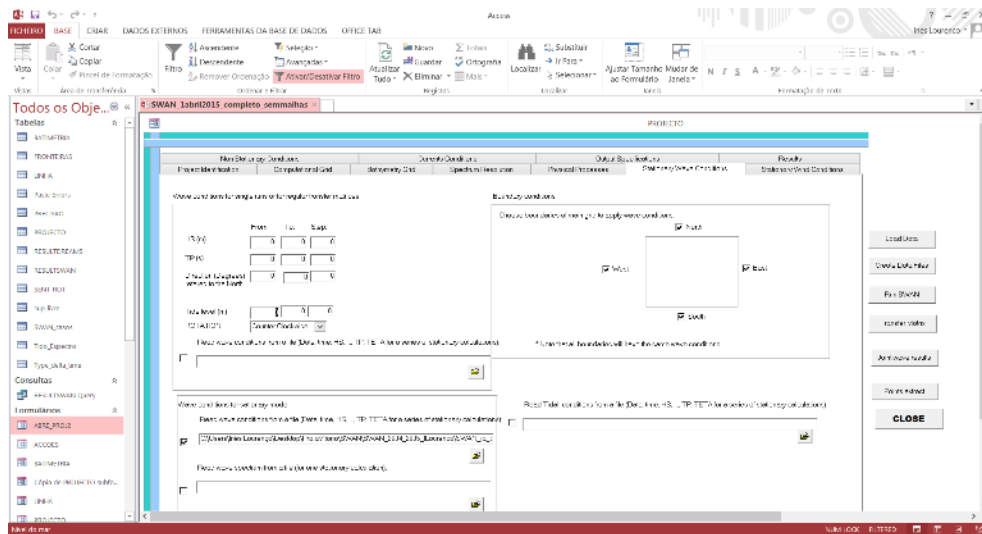


Figura A.11 – Consideração das condições de fronteira.

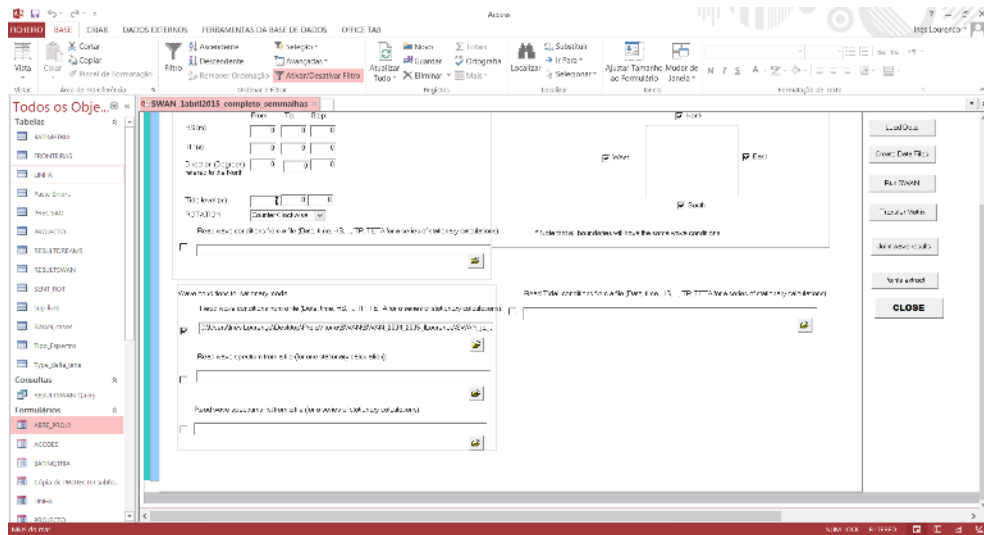


Figura A.12 – Diretoria do ficheiro que contém os dados fornecidos pelo WAM.

Data	Hs	L	Tr	Dir.	Spr.	Fp	D			
20040101	1	0	0	1.59	10	113	10	0.11626	113	1.55
20040101	0	0	0	1.02	10	107	10	0.11364	107	1.3
20040101	12	0	0	1.55	10	120	10	0.11111	120	1.04
20040101	18	0	0	1.55	10	142	10	0.11494	142	1.12
20040102	1	0	0	1.55	10	119	10	0.11216	119	1.7
20040102	6	0	0	1.65	10	125	10	0.11236	125	1.16
20040102	12	0	0	1.45	10	136	10	0.12346	136	1.74
20040102	18	0	0	1.44	10	143	10	0.12028	143	1.04
20040103	1	0	0	1.32	10	135	10	0.12987	135	1.79
20040103	6	0	0	1.03	10	104	10	0.12105	104	1.06
20040103	12	0	0	1.47	10	109	10	0.11626	109	1.09
20040103	18	0	0	1.57	10	203	10	0.10989	203	1
20040104	1	0	0	1.05	10	205	10	0.10358	205	1.83
20040104	6	0	0	1.8	10	290	10	0.10417	290	1.07
20040104	12	0	0	2.01	10	281	10	0.10516	281	1.06
20040104	18	0	0	2.1	10	291	10	0.09789	291	1.01
20040105	1	0	0	2.15	10	305	10	0.09029	305	1.83
20040105	6	0	0	2.22	10	308	10	0.09247	308	1.1
20040105	12	0	0	2.19	10	311	10	0.08547	311	1.73
20040105	18	0	0	2.75	10	112	10	0.08017	112	1.05
20040106	1	0	0	1.91	10	111	10	0.09259	111	1.22
20040106	6	0	0	2.11	10	287	10	0.11036	287	1.17
20040106	12	0	0	2.25	10	258	10	0.10358	258	1.03
20040106	18	0	0	3.33	10	259	10	0.12058	259	1.14
20040107	1	0	0	1.19	10	265	10	0.11104	265	1.56
20040107	6	0	0	1.41	10	281	10	0.1	281	1.29
20040107	12	0	0	3.03	10	209	10	0.09089	209	1.09
20040107	18	0	0	4.43	10	288	10	0.0985	288	1.26
20040108	1	0	0	4.1	10	296	10	0.09493	296	1.21
20040108	6	0	0	3.78	10	296	10	0.08623	296	1.25
20040108	12	0	0	1.53	10	294	10	0.08929	294	1.11
20040108	18	0	0	3.28	10	292	10	0.09346	292	1.42
20040109	1	0	0	3.08	10	288	10	0.09894	288	1.34
20040109	6	0	0	2.95	10	285	10	0.09591	285	1.03
20040109	12	0	0	3.02	10	279	10	0.10191	279	1.16
20040109	18	0	0	1.06	10	276	10	0.10189	276	1.59
20040110	1	0	0	2.97	10	274	10	0.10181	274	1.18
20040110	6	0	0	3.01	10	270	10	0.10204	270	1.8
20040110	12	0	0	3.15	10	207	10	0.10284	207	1.91
20040110	18	0	0	3.16	10	275	10	0.09434	275	1.74

Figura A.13 – Exemplo do ficheiro com as características de ondas provenientes do WAM para os anos de 2004 e 2005.

10. Abrir o separador “Stationary Wind Conditions”, definir novamente o “Extent” da malha, mas neste caso para a malha dos ventos que são extraídos a partir de “Blended Sea Winds” (Figura A.14). Indicar igualmente a diretoria dos ficheiros dos ventos.

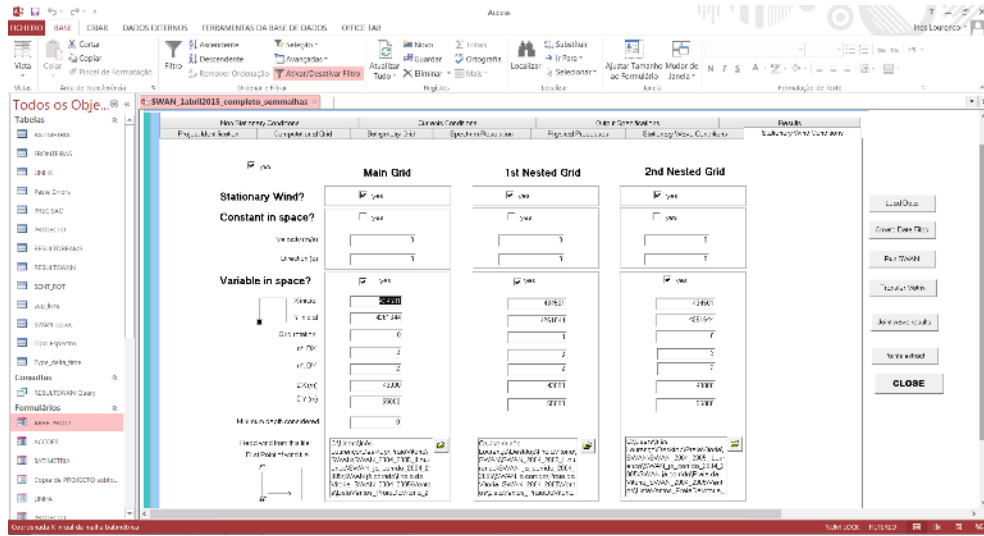


Figura A.14 – Parâmetros que definem as malhas de ventos e a diretoria dos respectivos ficheiros.

11. Não considerar os separadores “Non Stationary Conditions” e “Currents Conditions” (Figura A.15 e Figura A.16).

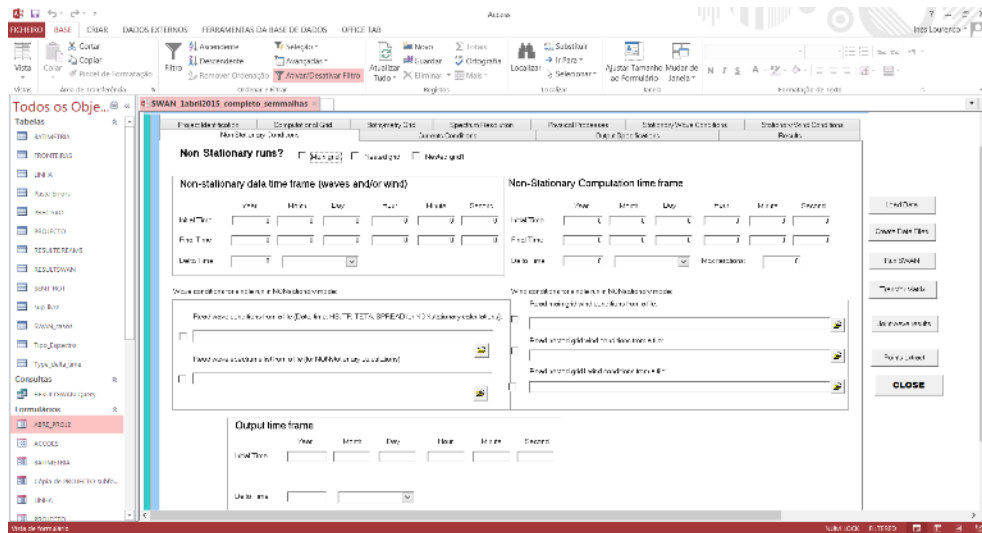


Figura A.15 – Separador de definição das condições não estacionárias.

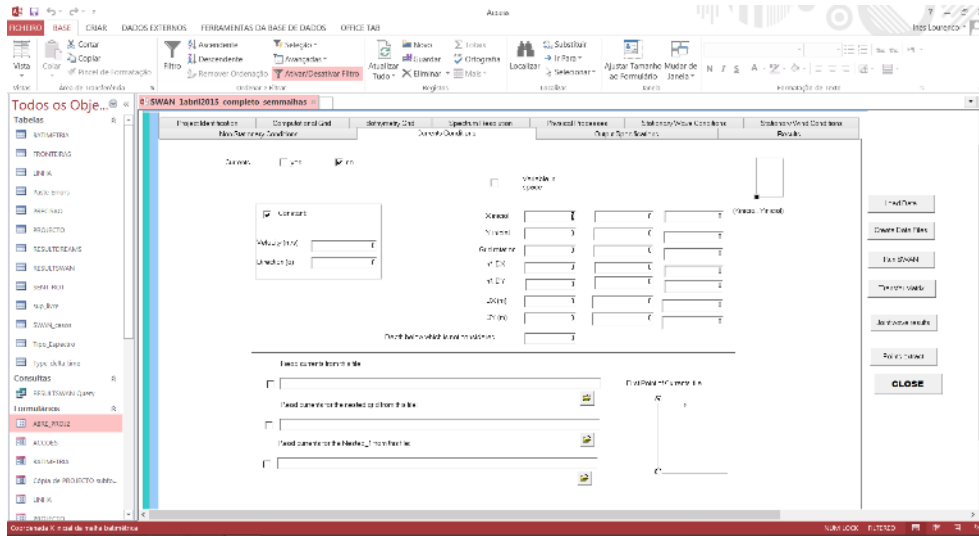


Figura A.16 – Separador de definição das condições de correntes.

12. Abrir o separador “Output Specifications” e definir o nome dos ficheiros para as malhas e para os outros pontos que serão gerados. Também se define o nome do ficheiro de pontos com as respetivas coordenadas para serem extraídas. Este ficheiro é composto por duas colunas com as coordenadas x e y (separadas por um espaço) (Figura A.17).

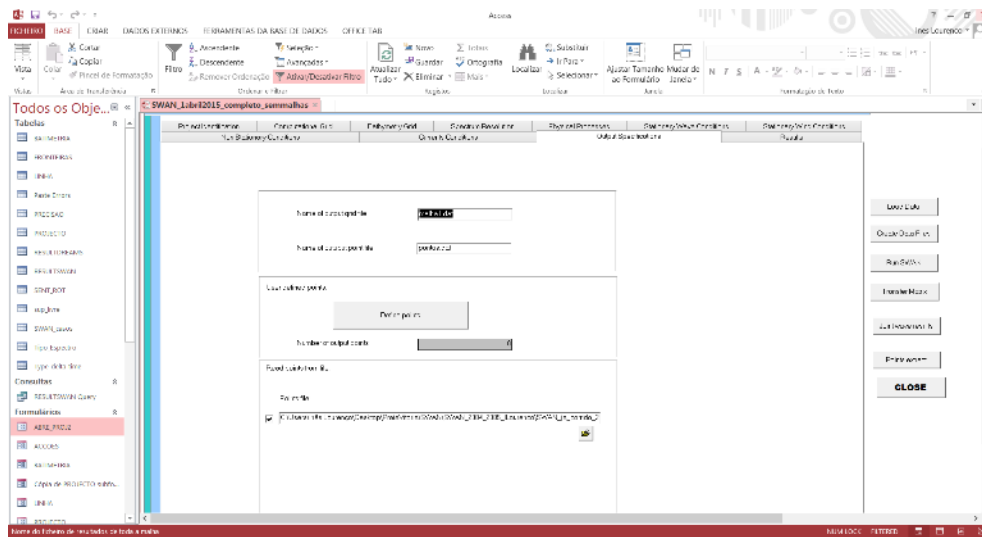


Figura A.17 – Separador de definição das especificações do *output*.

13. Abrir o separador “Results” e definir o método de interpolação utilizado, bem como a diretoria para onde serão exportados os resultados. Neste caso, o método será o de “Kriging” (Figura A.18).

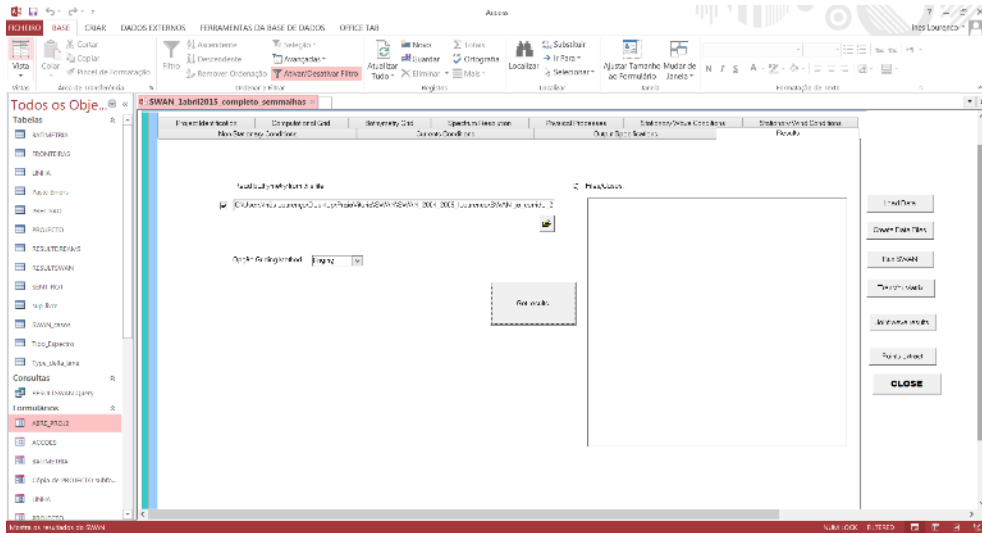


Figura A.18 – Diretoria dos documentos para onde serão enviados os resultados.

14. Após o preenchimento e verificação de todos os separadores, premir o botão “Create Data Files”, localizado no lado direito do formulário (Figura A.19). Com esta operação serão criados ficheiros “INPUT*_swn” e o ficheiro de comandos “SWAN*.BAT” para correr, efetivamente, o modelo SWAN.

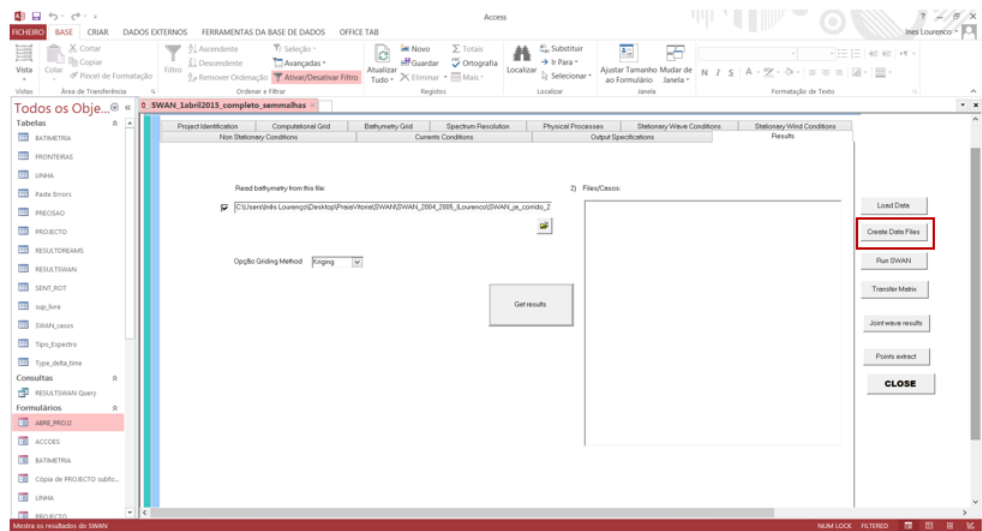


Figura A.19 – Painel para a execução de vários comandos no SWAN, incluindo o botão “Create Data Files”.

15. Clicar sobre o ficheiro “SWAN*.BAT” e esperar que o modelo execute.
16. Clicar sobre “Transfer Matrix” (Figura A.20). Será perguntado que malha considerar (1, 2, ou 3): indicar 3, para os pontos P1 e P2 que se encontrarem dentro da malha; indicar 2, para o ponto P3 que só é abrangido pela “Nested Grid”.

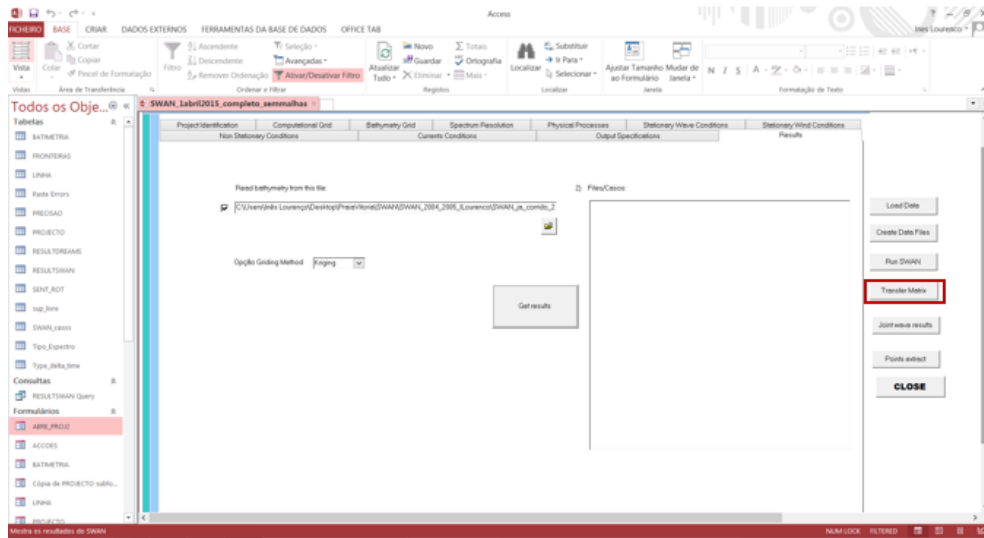


Figura A.20 – Painel para a execução de vários comandos no SWAN, incluindo o botão “Transfer Matrix”.

17. Abrir o ficheiro “TRANSFER*.dat” (Figura A.21), onde estão disponíveis os resultados do modelo SWAN, revelando as condições de agitação previstas para os três pontos considerados (P1, P2 e P3), os dados de *input* dados pelo WAM e o nível de maré.

 A screenshot of a text file window titled "TRANSFER_P1_0_nested_1979.dat - Bloco de notas". The window shows a table of numerical data with 11 columns and 6 rows. The data represents wave characteristics for three points (P1, P2, P3) over time.

Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda							
3.15	11.5	294	1.09	0.19636	13.6358	52.5	13.5709	61.086	13.8407	13.5709	
2.92	11.199	297	1.96	0.19715	13.6358	52.5	13.2432	59.394	13.497	13.2432	
2.71	10.9	303	0.86	0.37155	13.6358	142.5	2.6666	116.148	3.4412	2.6666	
2.53	10.6	309	1.96	0.43547	12.3255	142.5	2.377	117.535	3.1262	2.377	
2.35	10.2	313	0.85	0.24602	12.3255	52.5	11.6523	58.26	11.969	11.6523	

Figura A.21 – Exemplo do ficheiro “TRANSFER*.dat” saído do modelo SWAN.

Deste modo, obtiveram-se os valores de altura significativa da onda (H_s), dos períodos médio (T_m) e de pico (T_p), das direções média (θ_m) e de pico (θ_p), correspondentes às características de agitação marítima que se afigura terem ocorrido desde 1979 até 2013.

ANEXO B – Resultados do modelo SWAN

Gráficos de H_s , T_m , T_p no ponto P1 em análise, para o período de 1979 a 2013.

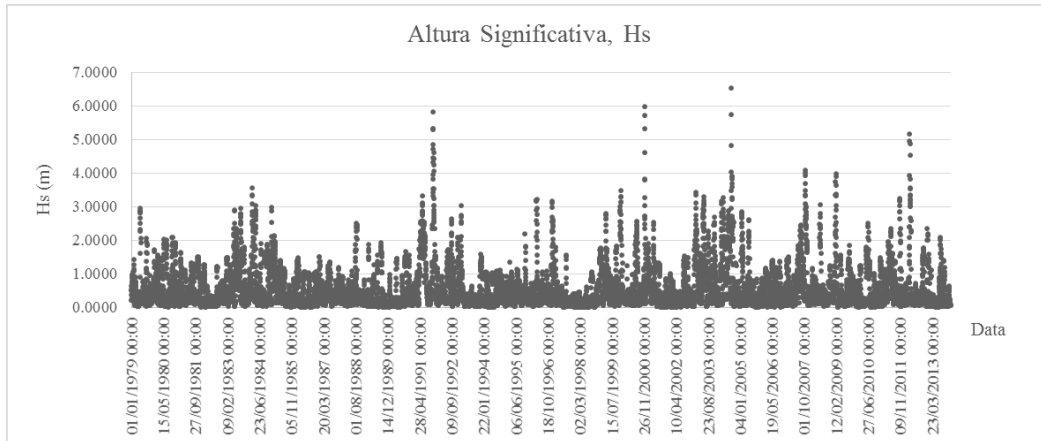


Gráfico B.1 – Série temporal de altura significativa (H_s) no ponto P1, obtido pelo modelo SWAN.

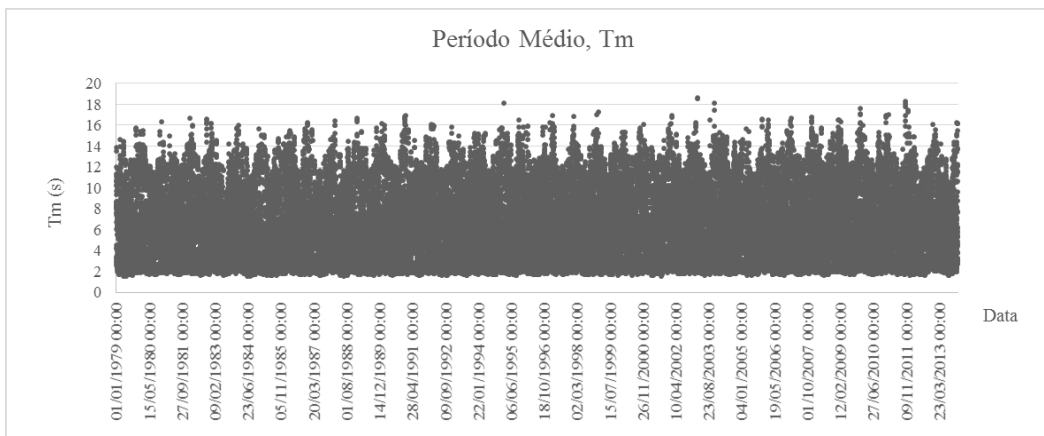


Gráfico B.2 – Série temporal de período médio (T_m) no ponto P1, obtido pelo modelo SWAN.

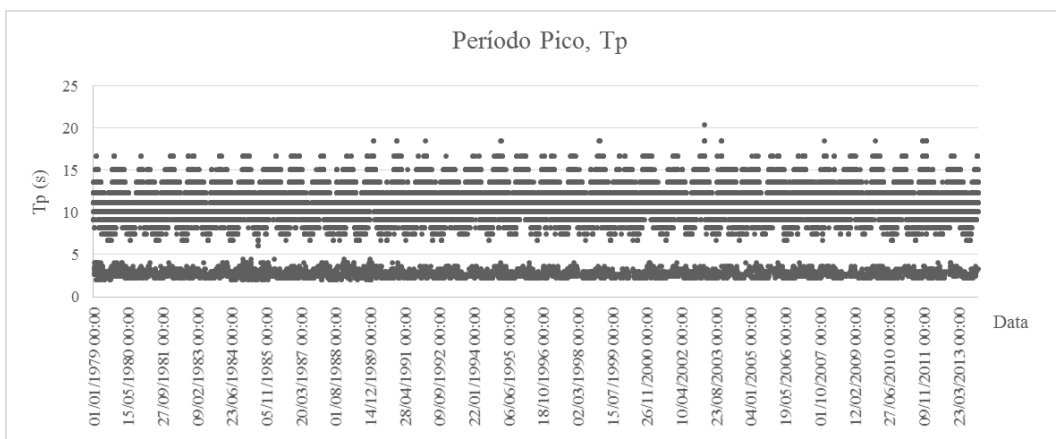


Gráfico B.3 – Série temporal de período de pico (T_p) no ponto P1, obtido pelo modelo SWAN.

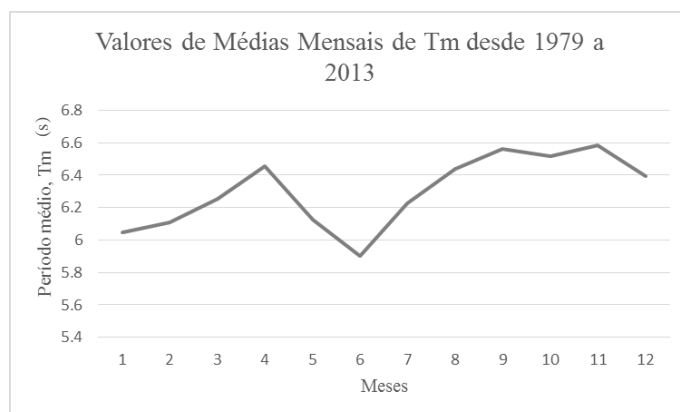


Gráfico B.10 – Valores médios de período médio ao longo do período de estudo.

Quadros com identificação de tempestades, no ponto P1.

Definiu-se tempestade como um evento que ocorreu mais que uma vez seguida, com altura significativa superior a 4 metros.

Quadro B.1 – Identificação de tempestades (P1).

Ano	Mês	Dia	Horas	Hs [m]	Tm [s]	Dir m [°]
1984	3	2	12	4.852	8.562	76.434
1984	3	2	18	5.817	8.965	75.699
1984	3	3	0	5.186	9.211	78.486
1984	3	3	6	4.961	8.925	77.608
2001	12	21	0	4.726	9.006	83.899
2001	12	21	6	5.304	9.644	81.892
2001	12	21	12	5.823	10.23	81.184
2001	12	21	18	5.313	10.22	78.465
2001	12	22	0	5.33	10.19	76.376
2001	12	22	6	4.846	9.92	71.742
2004	3	25	18	5.978	10.825	76.007
2004	3	26	0	5.726	10.822	77.705
2004	3	26	6	4.602	9.893	75.935
2005	2	27	6	5.758	10.89	77.691
2005	2	27	12	4.833	10.227	77.42

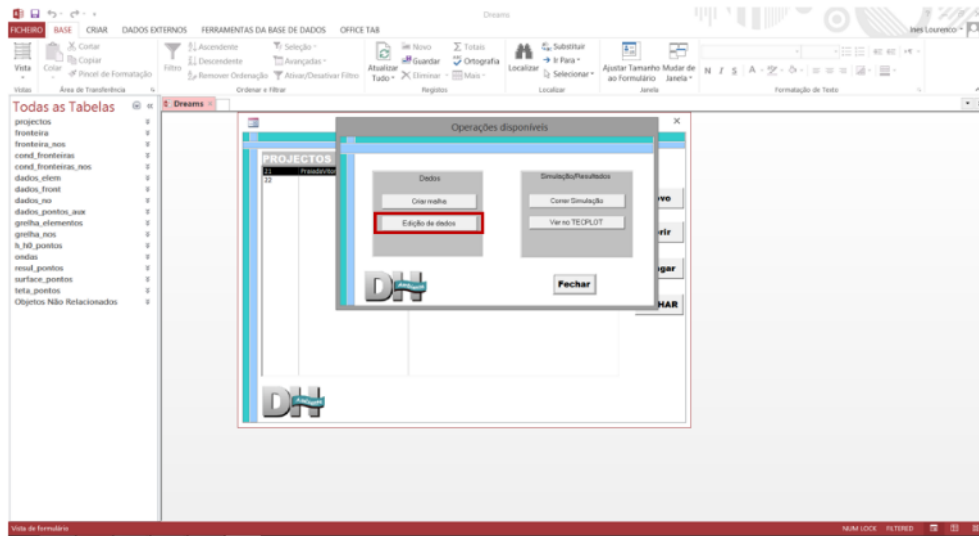


Figura C.5 – Separador “Edição de dados”.

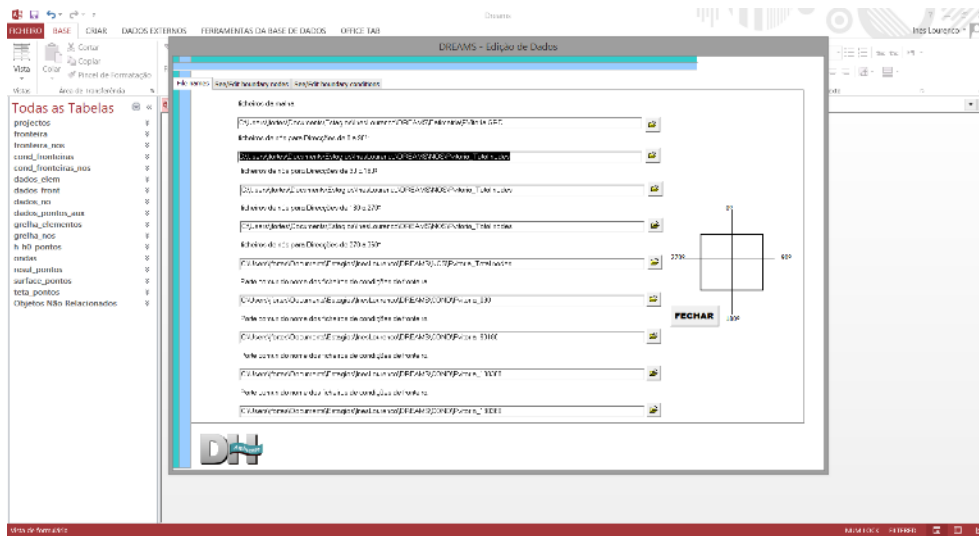


Figura C.6 – Aba “File Names” pertencente ao separador “Edição de dados”.

Os ficheiros apresentados em cima pertencem aos vários troços que constituem a fronteira para o caso de estudo, a Praia da Vitória. A fronteira corresponde ao contorno a vermelho da Figura C.7.

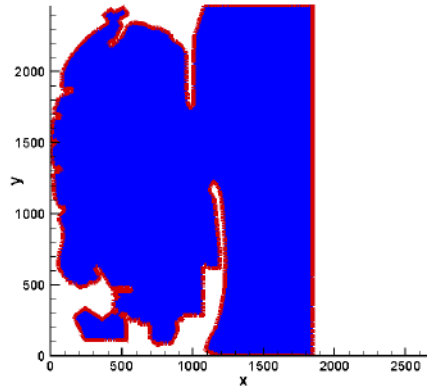


Figura C.7 – Fronteiras definidas para a Praia da Vitória.

6. Abrir o separador “Correr Simulação” (Figura C.8) e seguidamente a aba “Executar Modelo”. Neste separador, é necessário definir as condições que se pretendem considerar. A Figura C.9 apresenta as condições que foram consideradas para o caso de estudo: o intervalo entre cada parâmetro (“Step:”), os mínimos (“De:”) e os máximos (“Até:”). De seguida, clica-se sobre “DREAMS” e o modelo começa a gerar todas as condições. A execução de todas as condições é lenta, e como tal, aconselha-se dividir as condições consideradas por pastas e, seguidamente, por vários computadores (Figura C.10).

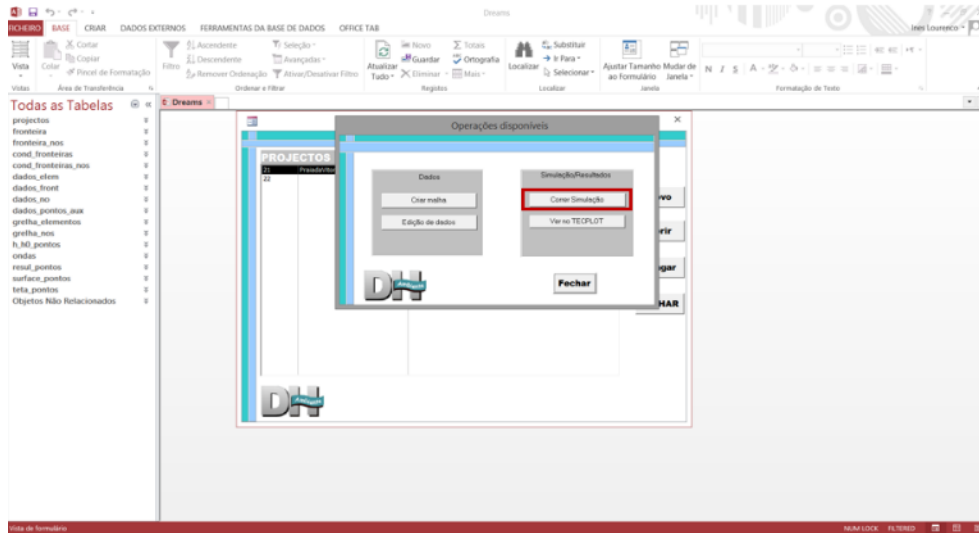


Figura C.8 – “Correr Simulação”.

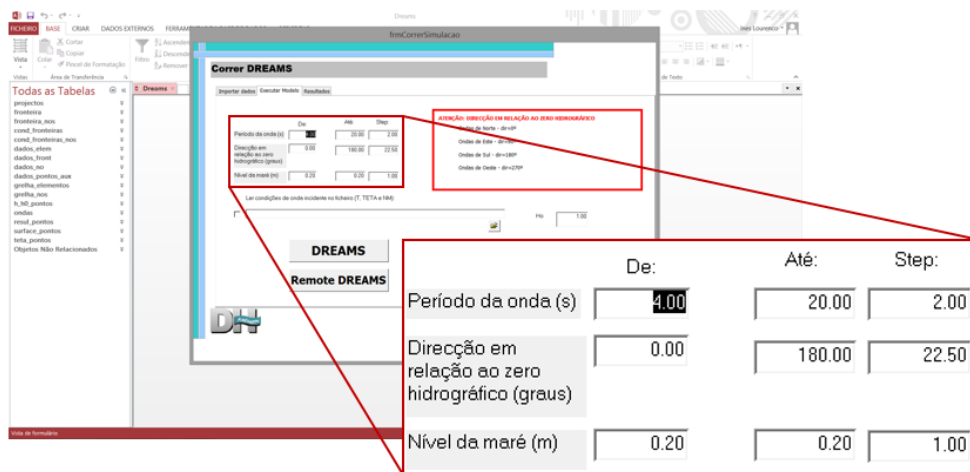


Figura C.9 – Condições do DREAMS consideradas para o caso de estudo.

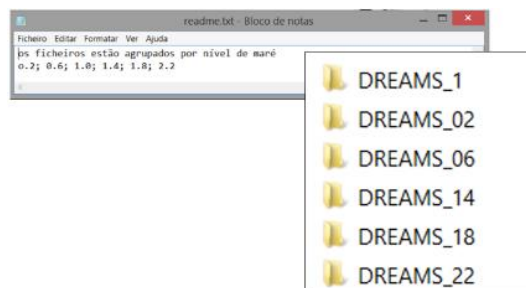


Figura C.10 – Organização dos ficheiros por pastas.

7. Abrir a aba “Resultados” do separador “Correr Simulação”, depois de terminadas as corridas. Inserir a diretoria onde se localiza o ficheiro de pontos “dados_pontos.dad” (Figura C.11). O ficheiro apresenta a estrutura apresentada na Figura C.12, em que a primeira fila representa o número de pontos considerados, a segunda e a terceira linhas definem o retângulo (componente em x e em y), em metros, de onde serão extraídos os valores utilizados para calcular um valor médio dos resultados do DREAMS para cada ponto. As restantes linhas do ficheiro contém as coordenadas locais dos pontos a extrair.

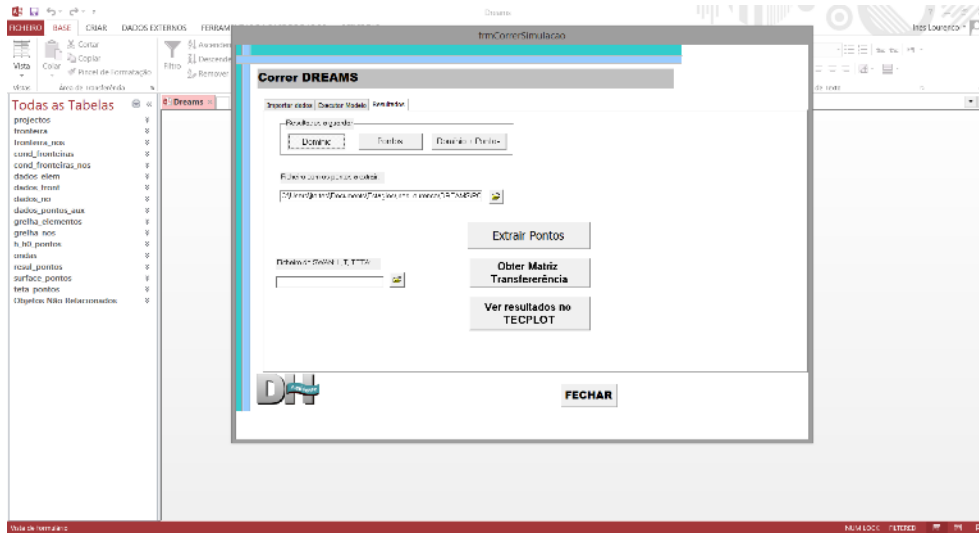


Figura C.11 – Seleção do ficheiro com as coordenadas dos pontos.

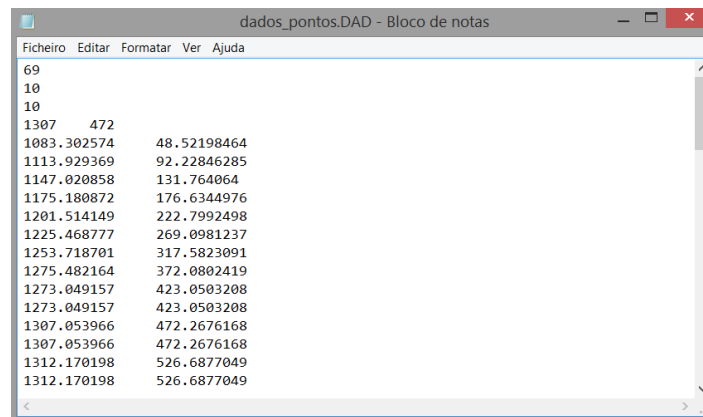


Figura C.12 – Estrutura do ficheiro “dados_pontos.dad”, neste caso para o nível de maré de 1.00 m (ZH).

8. Ainda na mesma aba, “Resultados”, clicar sobre “Extrair Pontos” (Figura C.13).

Obtém-se assim duas matrizes para cada ponto do SWAN, sendo:

- Uma relativa à direção, *dir*, em que o ficheiro se designa por “TETA_MEDIA_*.dad” (Figura C.14);
- Outra relativa ao quociente de H por H_0 , relação entre a altura da onda num ponto do domínio de cálculo e a altura da onda na entrada do domínio, em que o ficheiro se designa por “HHU_MEDIA_*.dad” (Figura C.15).

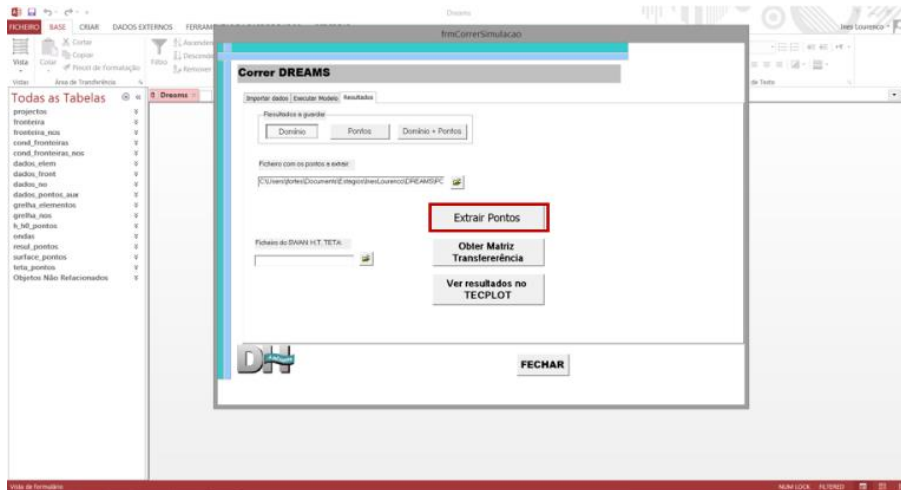


Figura C.13 – “Correr simulação”

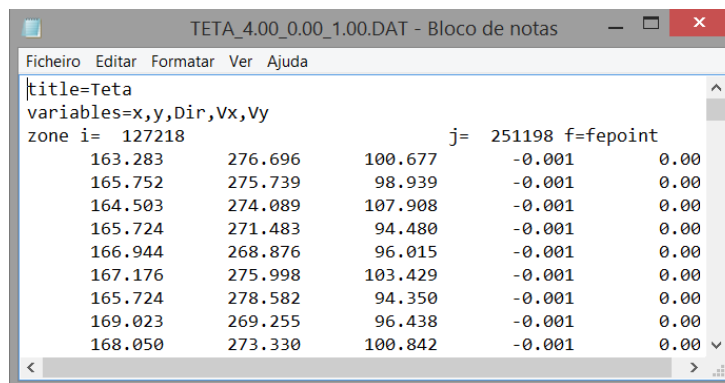


Figura C.14 – Exemplo da matriz da direção para os pontos fora do porto, com as condições $T_p=4$ s, $\theta=0^0$, $NM=1$ m (ZH)

Estas matrizes representam os valores dos dois parâmetros referidos em todos os pontos (P1 – P69) dentro dos limites definidos, dos quais foram estudados apenas os valores referentes aos 10 pontos a analisar.

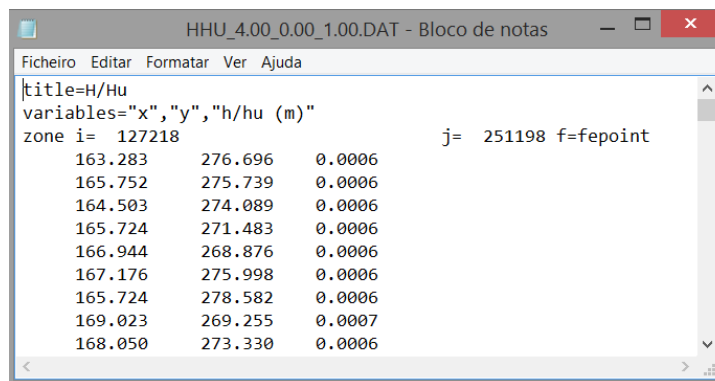


Figura C.15 – Exemplo da matriz de H/H_0 para os pontos fora do porto, com as condições $T_p=4$ s, $\theta=0^0$, $NM=1$ m (ZH)

9. Clicar sobre “Obter Matriz Transferência”, que se encontra ainda na mesma aba (Figura C.16). Obtém-se para cada ponto as respectivas matrizes de transferência, isto é, gera-se um ficheiro para cada ponto tendo em conta a data de ocorrência, designado por “TRANSFER_P*.csv”.

Seguidamente, deve-se ordenar os ficheiros obtidos “TRANSFER_P*.csv” pela ordem: NM, T_p, Dir, tal como é apresentado na Figura C.17.

De forma a obter-se os resultados considerando o período de ocorrência, é necessário criar dois ficheiros com os resultados do SWAN, com a indicação do número de colunas utilizadas na primeira linha de cada um dos ficheiros e ordená-los por:

- H_s, T_p, Dir;
- NM, T_p, Dir.

A cada “TRANSFER_P*.csv” estão associados um conjunto de comandos, que são posteriormente adicionados a um ficheiro batch (onde está escrito que os ficheiros criados pelo SWAN e posteriormente ordenados, são copiados para serem lidos pelo programa).

Nas três primeiras linhas do ficheiro, é necessário indicar o número de condições utilizadas para cada parâmetro: a primeira linha identifica o nível de maré utilizado (1 m ZH), a segunda o período de pico (9 s) e por fim, a terceira a direção (9°).

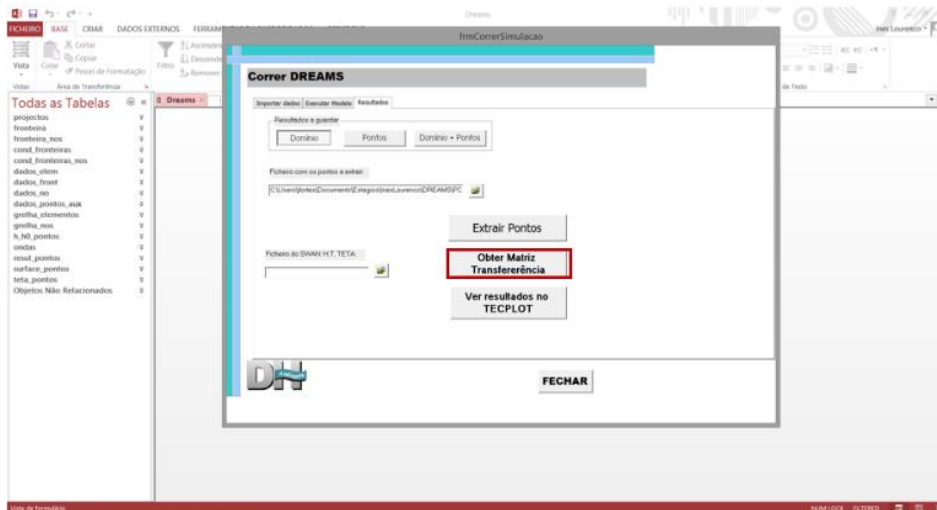


Figura C.16 – “Obter Matriz Transferência”.

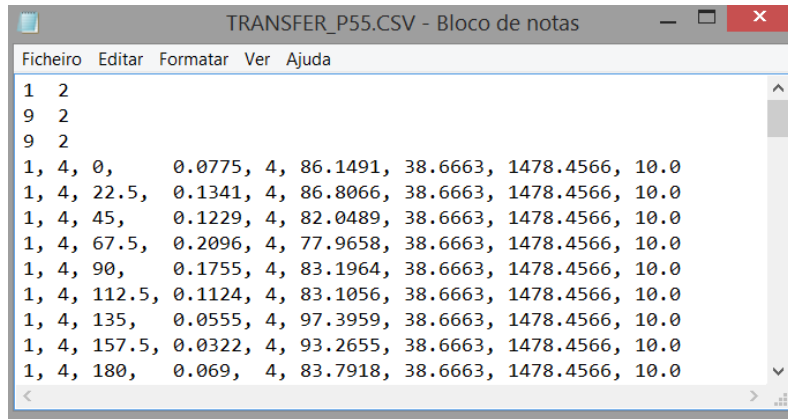


Figura C.17 – Exemplo do ficheiro “TRANSFER_P55.csv”, neste caso para o nível de maré de 1.00 m (ZH), para o ponto P55, que corresponde ao D1.

10. Clicar sobre o batch criado para cada ficheiro “TRANSFER_P*.csv”, definido por “Total_interpolacao_SWAN_DREAMS_galgamentos_P*_1979_2013.bat”. Este programa conjuga os dados obtidos pelo modelo SWAN e as condições de aplicabilidade referidas anteriormente. A lista de resultados aparece para cada ponto “resultados_agitacao_DREAMS_D*_1979_2013.dat” (Figura C.18). O ficheiro apresenta os valores de H_s , T_p , Dir e NM estimados pelo modelo em causa.

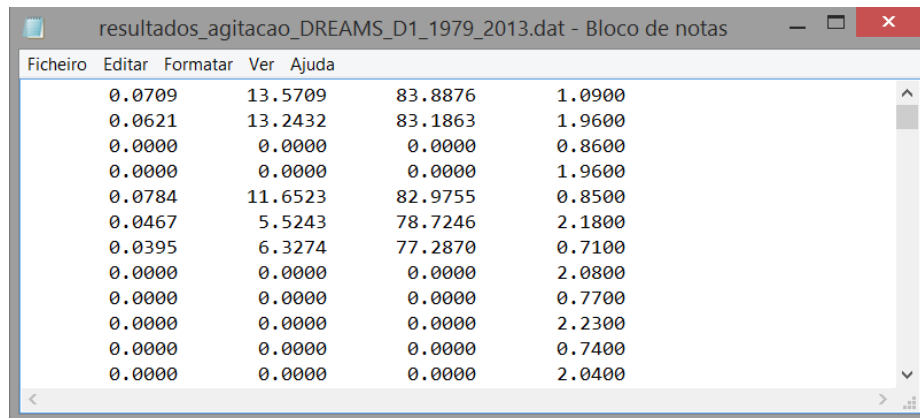


Figura C.18 – Exemplo do ficheiro “resultados_agitacao_DREAMS_D1_A979_2013.dat”.

ANEXO D – Resultados do modelo DREAMS

Gráficos de H_s nos dez pontos em análise, para o período de 1979 a 2013.

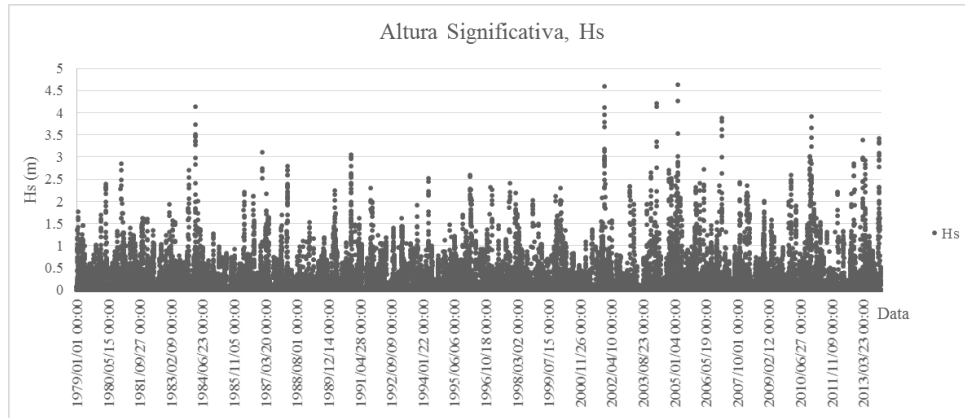


Gráfico D.1 – Série temporal de altura significativa (H_s) no ponto D1, obtido pelo modelo DREAMS.

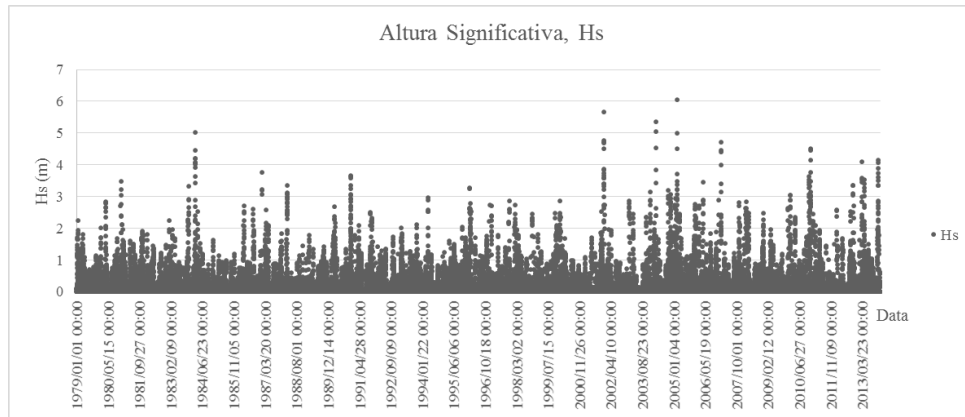


Gráfico D.2 – Série temporal de altura significativa (H_s) no ponto D2, obtido pelo modelo DREAMS.

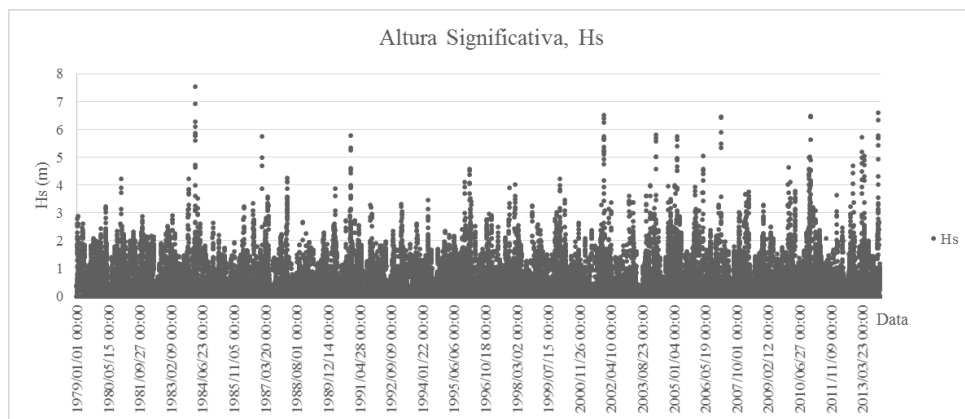


Gráfico D.3 - Série temporal de altura significativa (H_s) no ponto D3, obtido pelo modelo DREAMS.

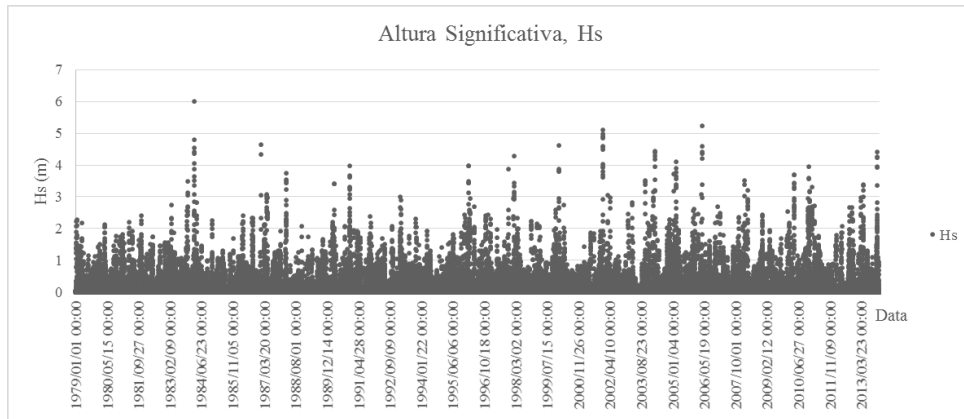


Gráfico D.4 – Série temporal de altura significativa (Hs) no ponto D4, obtido pelo modelo DREAMS.

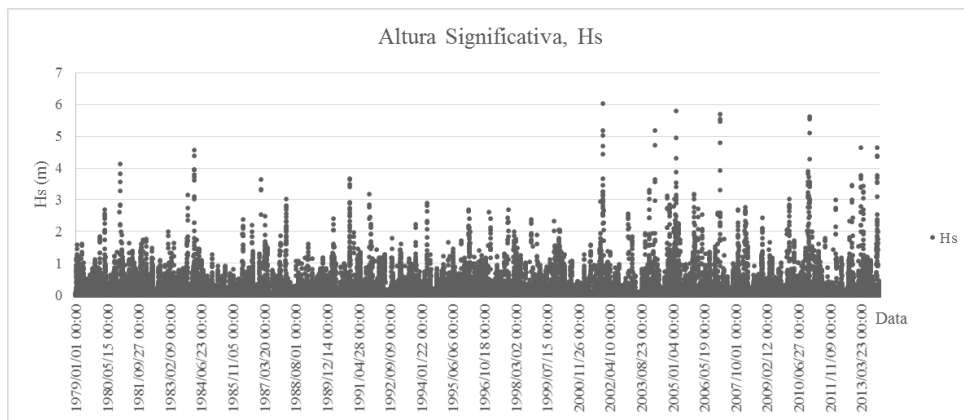


Gráfico D.5 – Série temporal de altura significativa (Hs) no ponto D5, obtido pelo modelo DREAMS.

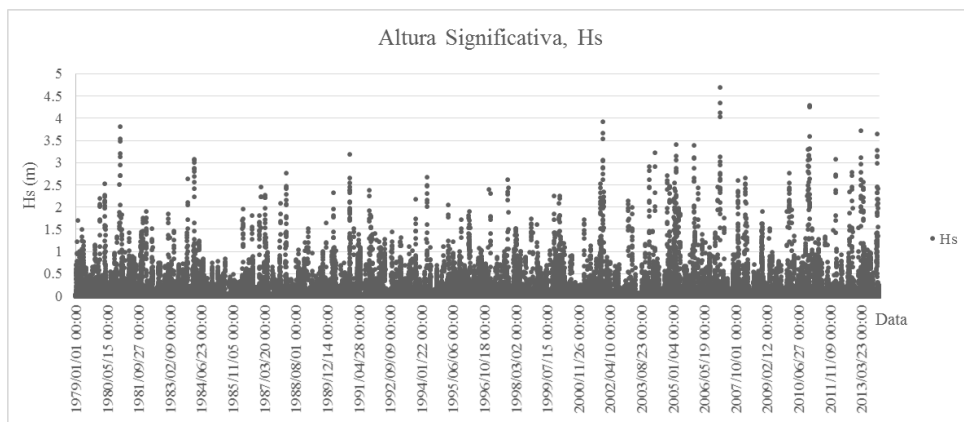


Gráfico D.6 – Série temporal de altura significativa (Hs) no ponto D6, obtido pelo modelo DREAMS.

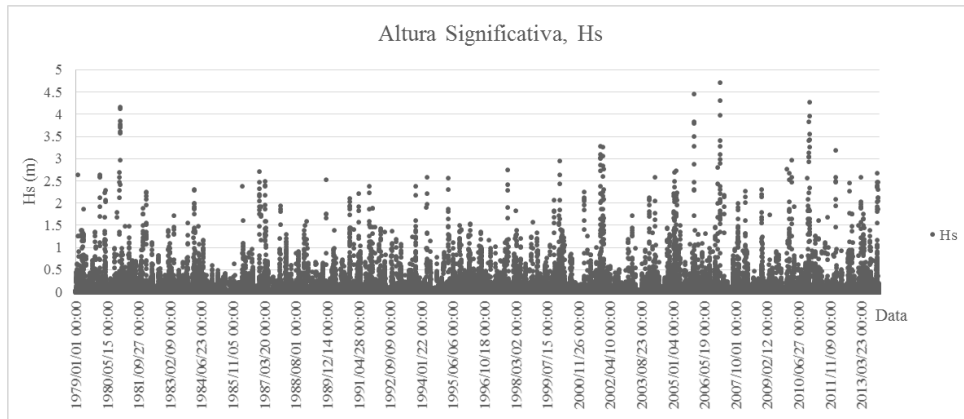


Gráfico D.7 – Série temporal de altura significativa (Hs) no ponto D7, obtido pelo modelo DREAMS.

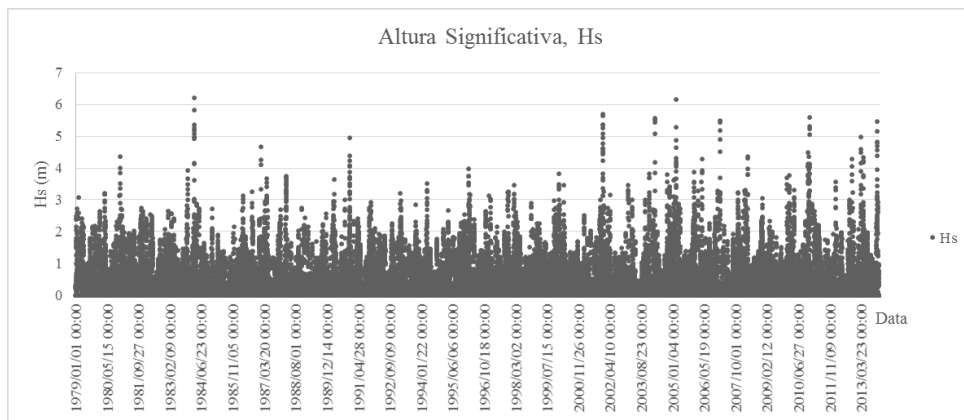


Gráfico D.8 – Série temporal de altura significativa (Hs) no ponto D8, obtido pelo modelo DREAMS.

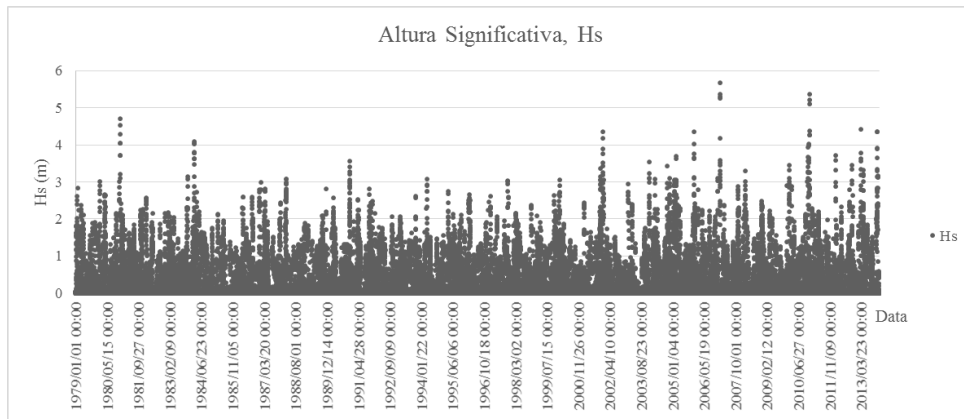


Gráfico D.9 – Série temporal de altura significativa (Hs) no ponto D9, obtido pelo modelo DREAMS.

8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	65	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	12	158	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	74	270	24	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	401	451	70	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1452	1315	213	27	9	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	8740	3703	4182	4053	1599	438	47	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	6	8	10	12	14	16	18	20	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

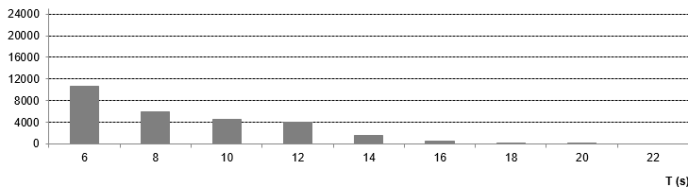
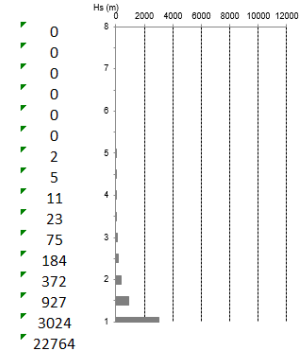


Gráfico D.12 – Histograma que relaciona Hs com Tm ao longo dos 34 anos de estudo (D1).

22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	136	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1594	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	3990	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	4464	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	5840	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	9885	791	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	26259	1128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

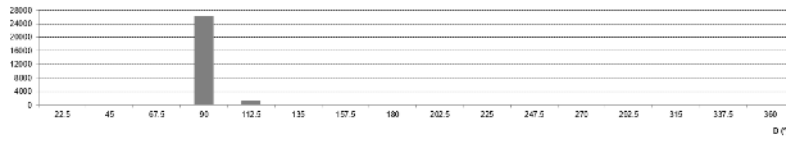
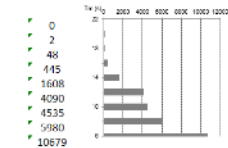


Gráfico D.13 – Histograma que relaciona Tm com D ao longo dos 34 anos de estudo (D1).

o Ponto D2

8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	10	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	44	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	123	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	211	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	446	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	1043	137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	3005	333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	20064	1800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	24980	2407	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

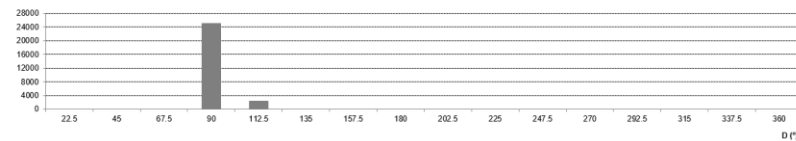
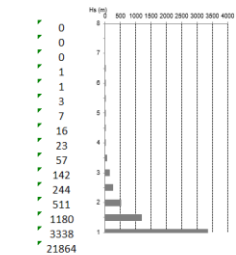


Gráfico D.14 – Histograma que relaciona Hs com D ao longo dos 34 anos de estudo (D2).

8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	9	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	9	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	24	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	26	6	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	62	11	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	132	15	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	14	286	19	1	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	324	340	44	8	22	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	958	522	96	38	25	46	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	1732	1037	173	108	122	99	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2497	1424	516	516	479	135	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	5154	2102	3621	3412	951	153	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	6	8	10	12	14	16	18	20	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	10679	5980	4535	4090	1608	445	48	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

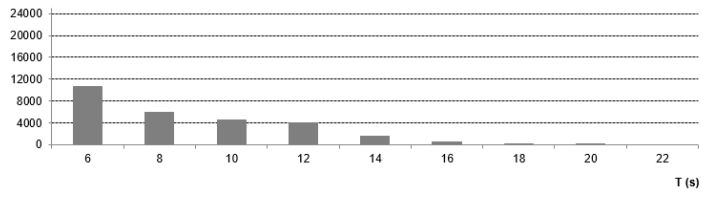
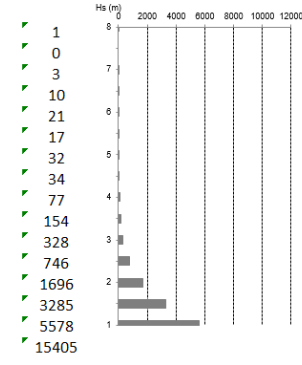


Gráfico D.18 – Histograma que relaciona Hs com Tm ao longo dos 34 anos de estudo (D3).

22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	45	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	430	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	1505	65	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	3784	47	258	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	4288	55	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	6	2970	2138	524	213	126	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	11	7048	1883	978	507	251	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	10679	5980	4535	4090	1608	445	48	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

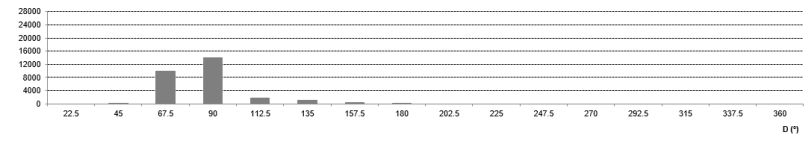
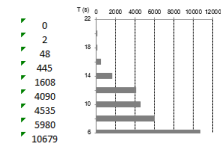


Gráfico D.19 – Histograma que relaciona D com Tm ao longo dos 34 anos de estudo (D3).

o Ponto D4

8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	3	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	2	277	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	13	571	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	74	1260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1156	2680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	13	14378	6733	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	13	15626	11736	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

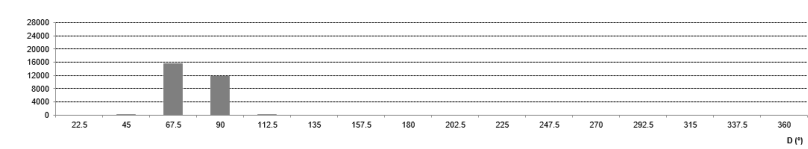
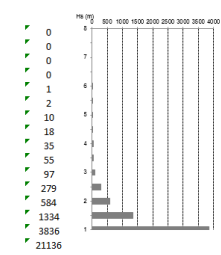


Gráfico D.20 – Histograma que relaciona Hs com D ao longo dos 34 anos de estudo (D4).

Gráficos de valores médios mensais dos parâmetros Hs e T, em cada um dos pontos de análise.

- Ponto D1

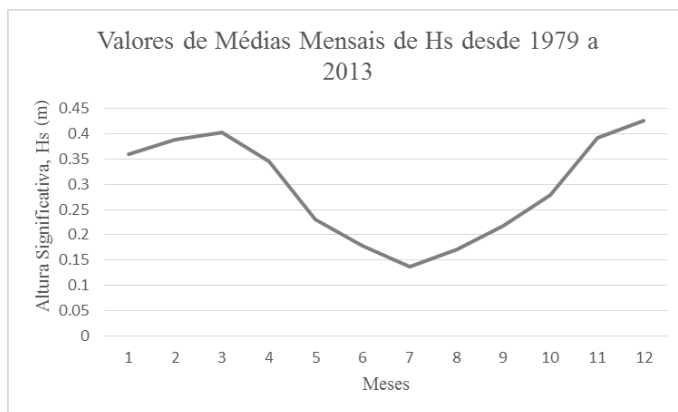


Gráfico D.41 – Valores de médias mensais da Hs, ao longo do período de estudo (D1).

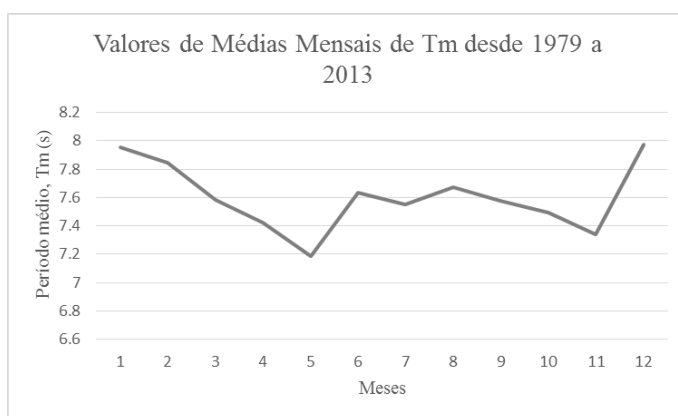


Gráfico D.42 – Valores médios de Tm, ao longo do período de estudo (D1).

- Ponto D2

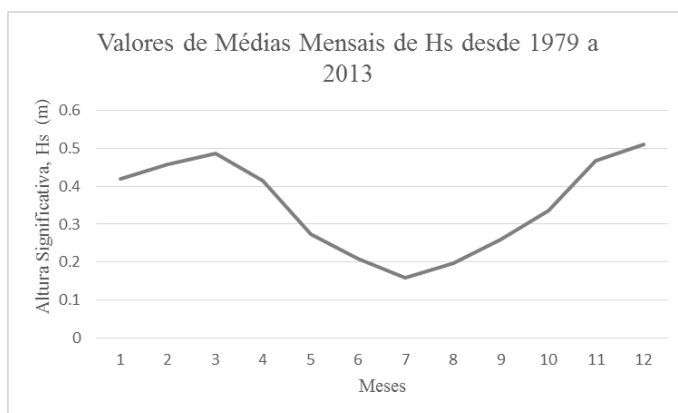


Gráfico D.43 – Valores de médias mensais da Hs, ao longo do período de estudo (D2).

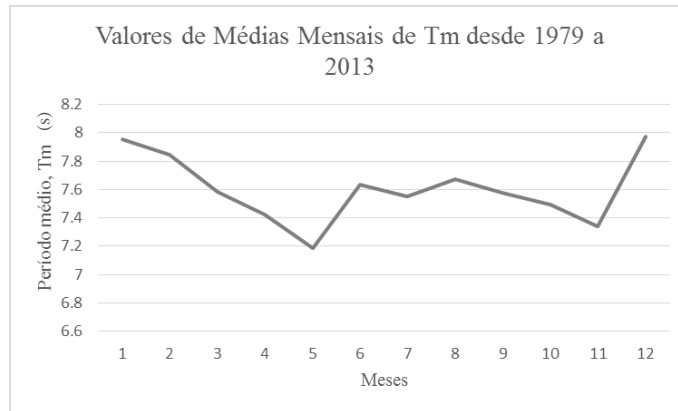


Gráfico D.44 – Valores médios de Tm, ao longo do período de estudo (D2).

o Ponto D3

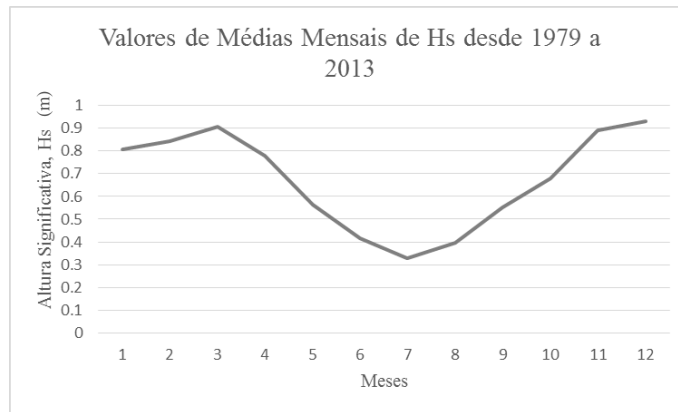


Gráfico D.45 – Valores de médias mensais da Hs, ao longo do período de estudo (D3).

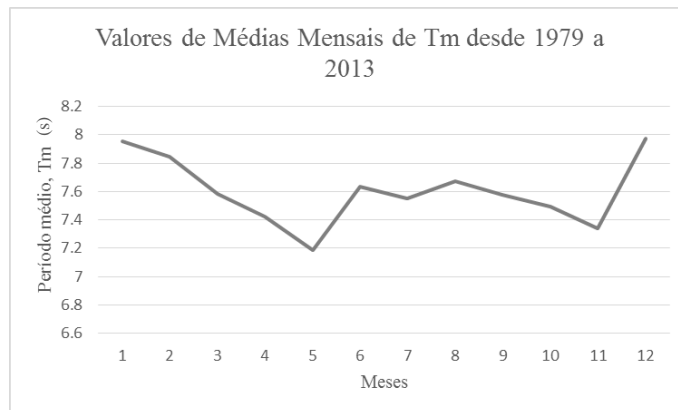


Gráfico D.46 – Valores médios de Tm, ao longo do período de estudo (D3).

- Ponto D4

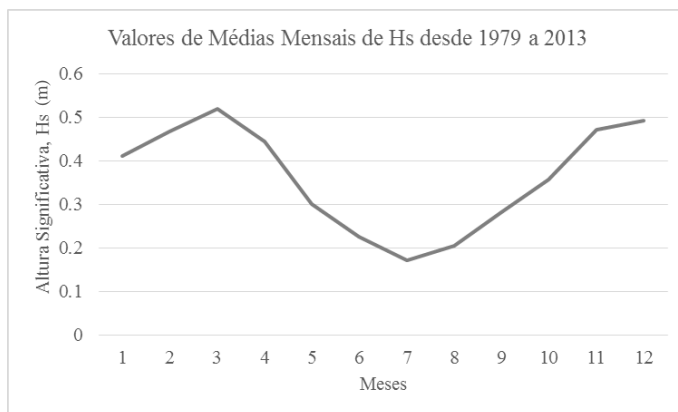


Gráfico D.47 – Valores de médias mensais da Hs, ao longo do período de estudo (D4).

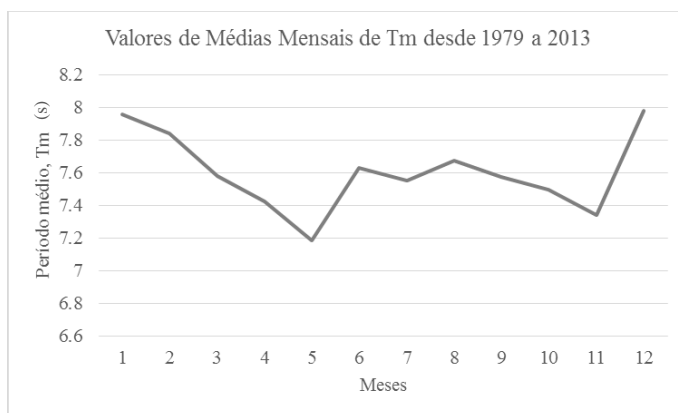


Gráfico D.48 – Valores médios de Tm, ao longo do período de estudo (D4).

- Ponto D5

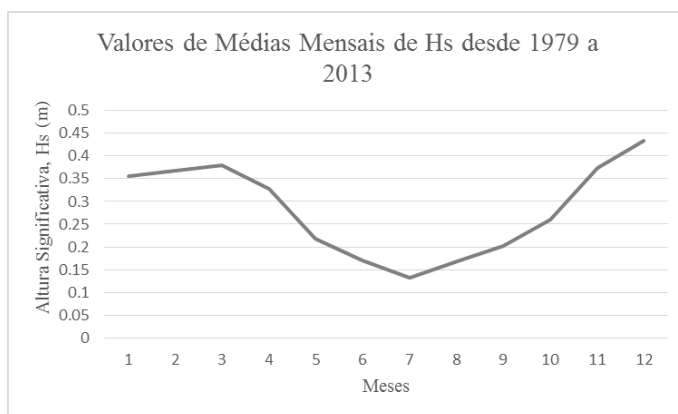


Gráfico D.49 – Valores de médias mensais da Hs, ao longo do período de estudo (D5).

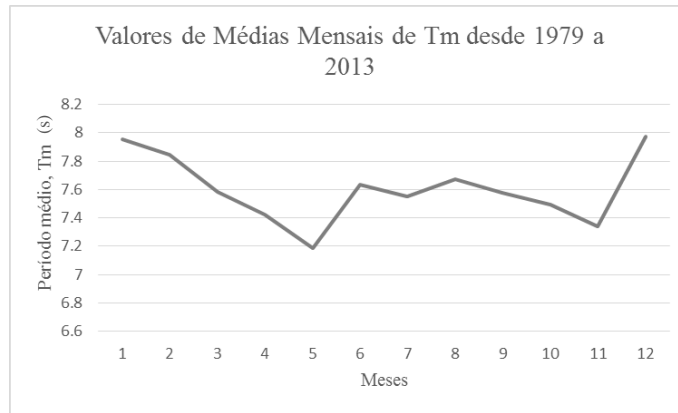


Gráfico D.50 – Valores médios de Tm, ao longo do período de estudo (D5).

o Ponto D6

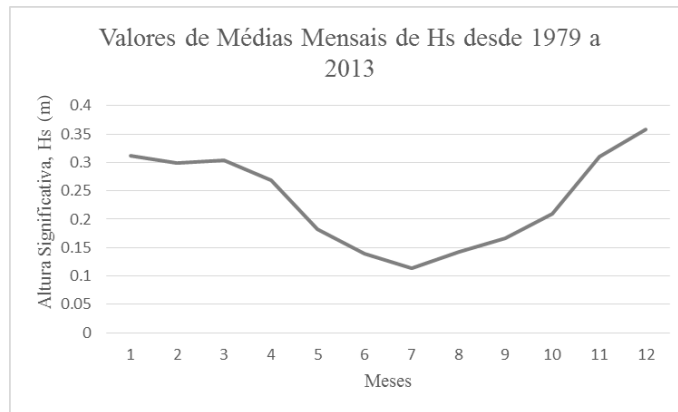


Gráfico D.51 – Valores de médias mensais da Hs, ao longo do período de estudo (D6).

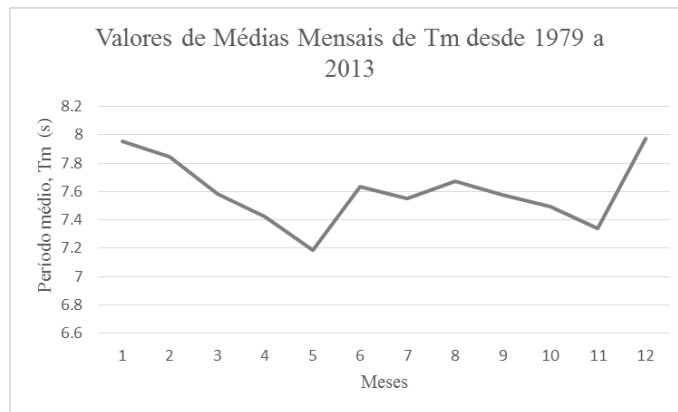


Gráfico D.52 – Valores médios de Tm, ao longo do período de estudo (D6).

- Ponto D7

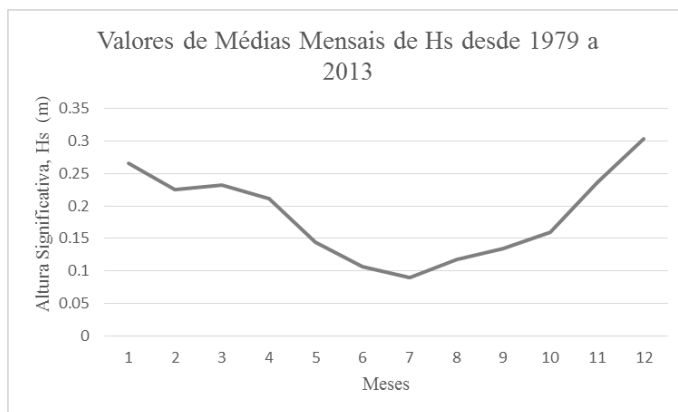


Gráfico D.53 – Valores de médias mensais da Hs, ao longo do período de estudo (D7).

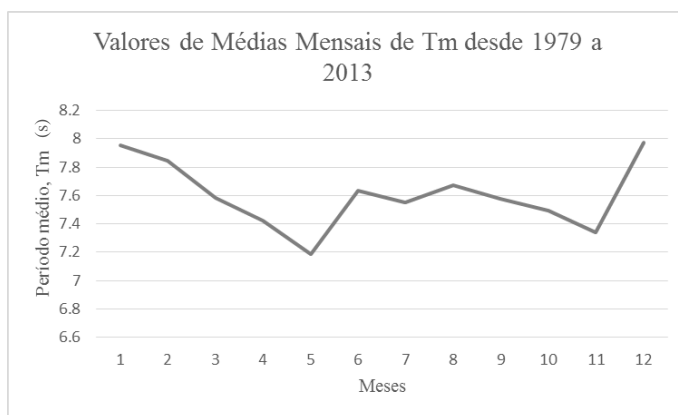


Gráfico D.54 – Valores médios de Tm, ao longo do período de estudo (D7).

- Ponto D8

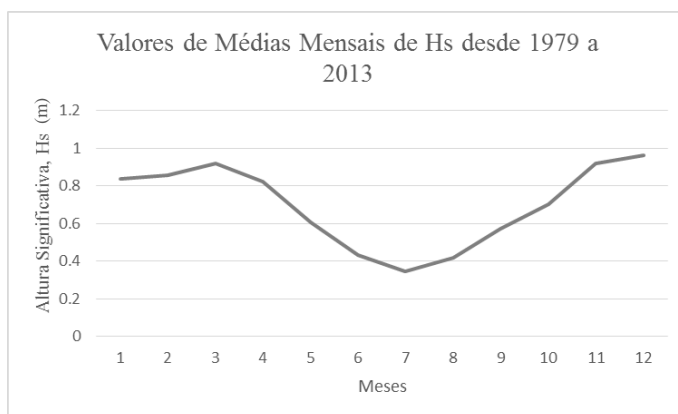


Gráfico D.55 – Valores de médias mensais da Hs, ao longo do período de estudo (D8).

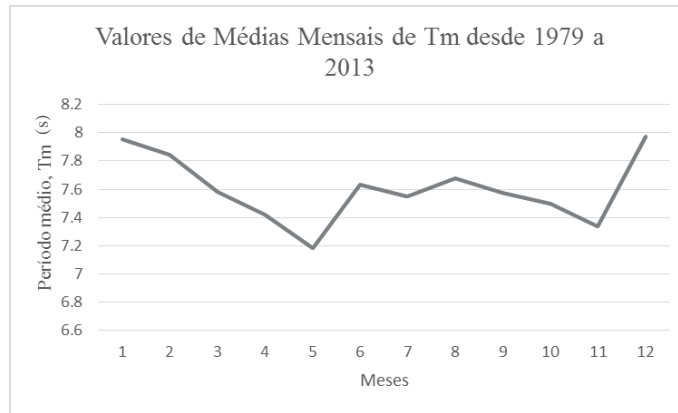


Gráfico D.56 – Valores médios de Tm, ao longo do período de estudo (D8).

o Ponto D9

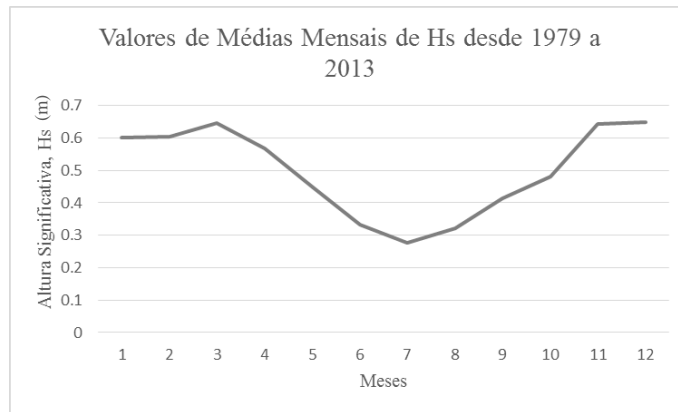


Gráfico D.57 – Valores de médias mensais da Hs, ao longo do período de estudo (D9).

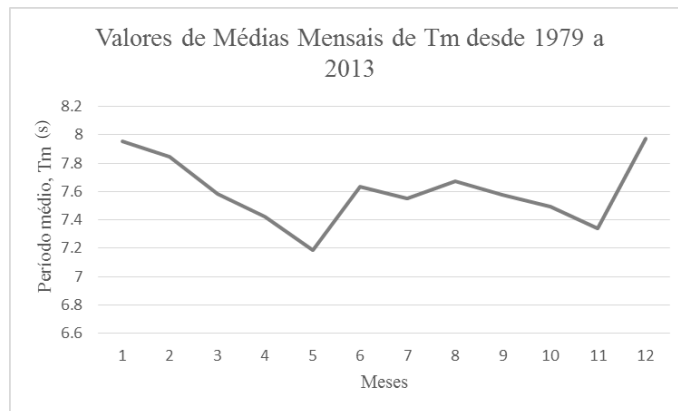


Gráfico D.58 – Valores médios de Tm, ao longo do período de estudo (D9).

- Ponto D10

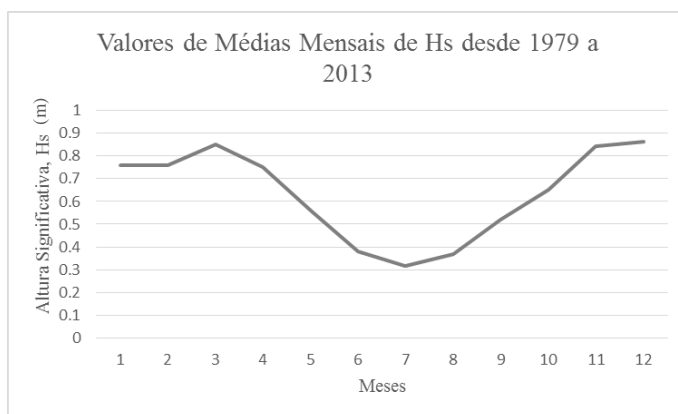


Gráfico D.59 – Valores de médias mensais da Hs, ao longo do período de estudo (D10).

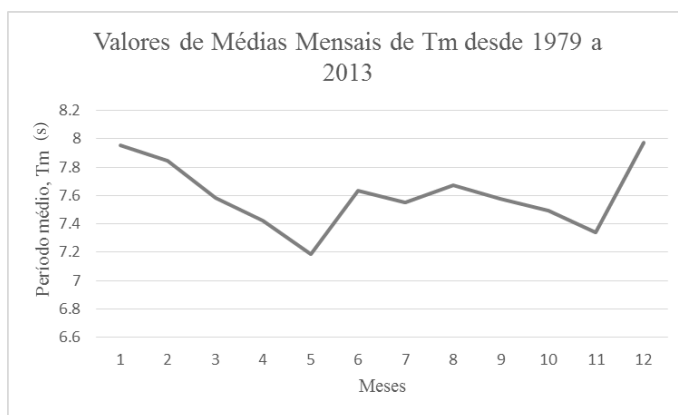


Gráfico D.60 – Valores médios de Tm, ao longo do período de estudo (D10).

Quadros com identificação de tempestades, em cada um dos pontos de análise.

Definiu-se tempestade como um evento que ocorreu mais que uma vez seguida, com altura significativa superior a 4 metros.

No ponto D1 não foram identificadas quaisquer tempestades.

Quadro D.1 – Identificação de tempestades (D2).

Ano	Mês	Dia	Horas	Hs [m]	Tm [s]	Dir m [°]
1984	3	2	12	4.024	7.315	83.62
1984	3	2	18	5.015	7.72	83.419
1984	3	3	0	4.451	7.747	84.961
2001	12	21	6	4.722	8.724	87.905
2001	12	21	12	5.657	9.292	88.335
2001	12	21	18	4.681	9.111	86.712

2004	3	25	12	4.524	9.263	84.191
2004	3	25	18	5.053	9.744	86.446

Quadro D.2 – Identificação de tempestades (D3).

Ano	Mês	Dia	Horas	Hs [m]	Tm [s]	Dir m [°]
1984	3	1	18	4.627	6.683	81.19
1984	3	2	0	5.771	7.126	89.288
1984	3	2	6	5.59	7.156	87.365
1984	3	2	12	5.861	7.315	85.962
1984	3	2	18	7.549	7.72	88.979
1984	3	3	0	6.913	7.747	91.393
1984	3	3	6	6.278	7.517	88.798
1984	3	3	12	6.087	7.44	88.696
1984	3	3	18	5.766	7.425	88.849
1984	3	4	0	4.73	7.081	84.321
1987	1	24	12	4.989	7.606	82.798
1987	1	24	18	5.751	8.078	92.1
1987	1	25	0	4.699	8.469	87.715
1990	12	2	12	5.772	7.724	91.829
1990	12	2	18	5.336	7.69	92.504
1990	12	3	0	4.593	7.348	88.624
2001	12	20	18	4.923	7.219	96.059
2001	12	21	0	6.523	8.187	96.334
2001	12	21	6	6.396	8.724	84.582
2001	12	21	12	6.24	9.292	83.757
2001	12	21	18	5.624	9.111	80.294
2001	12	22	0	5.665	9.172	82.217
2001	12	22	6	5.213	8.865	80.091
2001	12	22	12	5.112	8.67	83.57
2001	12	22	18	4.755	8.379	84.444
2001	12	22	18	4.755	8.379	84.444
2001	12	23	0	5.191	8.421	84.676
2001	12	23	6	5.378	8.337	84.756
2001	12	23	12	5.733	8.302	86.514
2001	12	23	18	5.658	8.031	89.955
2001	12	24	0	5.261	7.686	89.055
2001	12	24	6	4.15	7.119	86.468
2004	3	25	6	4.567	8.019	81.137
2004	3	25	12	5.585	9.263	81.105
2004	3	25	18	5.009	9.744	71.889
2004	3	26	0	5.815	9.539	81.762
2004	3	26	6	5.686	8.455	85.706
2005	2	27	6	4.953	9.661	71.938

2005	2	27	12	5.643	8.88	86.624
2005	2	27	18	5.39	8.217	89.458
2005	2	28	0	4.664	7.826	92.845
2006	4	10	12	4.578	8.324	80.93
2006	4	10	18	5.029	8.167	85.463
2006	4	11	0	4.41	7.744	81.655
2007	1	24	12	5.49	8.35	103.767
2007	1	24	18	6.423	8.415	96.059
2007	1	25	0	6.446	8.077	102.356
2010	12	16	12	6.462	8.391	97.82
2010	12	16	18	6.488	8.159	100.743
2010	12	17	0	6.439	7.955	96.956
2010	12	17	6	4.881	7.479	91.834
2013	3	14	0	5.709	7.542	98.326
2013	3	14	6	4.977	7.238	96.182
2013	4	26	18	4.908	7.389	89.155
2013	4	27	0	5.028	7.383	90.033
2013	4	27	6	4.712	7.311	90.478
2013	12	4	0	4.295	7.428	78.584
2013	12	4	6	5.424	7.742	87.902
2013	12	4	12	5.696	7.799	91.049
2013	12	4	18	5.675	7.725	90.771
2013	12	5	0	6.327	7.884	95.148
2013	12	5	6	6.589	7.904	96.271
2013	12	5	12	5.782	7.75	98.88
2013	12	5	18	4.935	7.217	98.611

Quadro D.3 – Identificação de tempestades (D4).

Ano	Mês	Dia	Horas	Hs [m]	Tm [s]	Dir m [°]
1984	3	2	12	4.407	7.315	71.496
1984	3	2	18	5.996	7.72	70.915
1984	3	3	0	4.806	7.747	71.351
2001	12	23	6	4.976	8.337	69.369
2001	12	23	12	5.095	8.302	69.769
2001	12	23	18	4.855	8.031	70.314
2006	4	10	12	4.595	8.324	68.313
2006	4	10	18	5.244	8.167	69.056
2006	4	11	0	4.352	7.744	69.461

Quadro D.4 – Identificação de tempestades (D5).

Ano	Mês	Dia	Horas	Hs [m]	Tm [s]	Dir m [°]
-----	-----	-----	-------	-----------	-----------	--------------

2001	12	21	6	5.18	8.724	87.825
2001	12	21	12	6.028	9.292	87.14
2001	12	21	18	4.701	9.111	86.507
2007	1	24	6	4.792	8.244	92.332
2007	1	24	12	5.705	8.35	89.074
2007	1	24	18	5.475	8.415	90.206
2010	12	16	12	5.632	8.391	90.128
2010	12	16	18	5.535	8.159	88.647
2010	12	17	0	4.295	7.955	89.301

Nos pontos D6 e D7 não foram identificadas quaisquer tempestades.

Quadro D.5 – Identificação de tempestades (D8).

Ano	Mês	Dia	Horas	Hs [m]	Tm [s]	Dir m [°]
1984	3	1	18	4.155	6.683	78.844
1984	3	2	0	5.253	7.126	78.107
1984	3	2	6	4.917	7.156	79.644
1984	3	2	6	4.917	7.156	79.644
1984	3	2	12	5.075	7.315	76.978
1984	3	2	18	6.202	7.72	78.706
1984	3	3	0	5.835	7.747	78.859
1984	3	3	6	5.371	7.517	78.184
1984	3	3	12	5.173	7.44	79.349
1984	3	3	18	4.99	7.425	78.491
2001	12	20	18	4.443	7.219	82.214
2001	12	21	0	5.266	8.187	84.976
2001	12	21	6	5.701	8.724	85.996
2001	12	21	12	5.646	9.292	88.143
2001	12	21	18	5.361	9.111	84.511
2001	12	22	0	5.358	9.172	82.278
2001	12	22	6	5.069	8.865	76.442
2001	12	22	12	4.62	8.67	77.295
2004	3	25	6	4.168	8.019	70.173
2004	3	25	12	5.43	9.263	77.624
2004	3	25	18	5.523	9.744	84.47
2004	3	26	0	5.56	9.539	84.293
2005	2	27	6	5.297	9.661	86.886
2005	2	27	12	4.865	8.88	83.238
2007	1	24	12	4.895	8.35	94.374
2007	1	24	18	5.5	8.415	93.037
2007	1	25	0	5.189	8.077	88.229
2007	1	25	6	4.526	7.362	84.399
2010	12	16	0	4.031	7.564	97.956

2010	12	16	6	5.06	8.081	91.584
2010	12	16	12	5.598	8.391	91.691
2010	12	16	18	5.243	8.159	87.67
2010	12	17	0	5.312	7.955	81.515
2010	12	17	6	4.117	7.479	82.483
2013	12	4	18	4.831	7.725	78.109
2013	12	5	0	5.164	7.884	81.974
2013	12	5	6	5.474	7.904	81.098
2013	12	5	12	4.796	7.75	85.946

Quadro D.6 – Identificação de tempestades (D9).

Ano	Mês	Dia	Horas	Hs [m]	Tm [s]	Dir m [°]
2007	1	24	12	5.367	8.35	90.173
2007	1	24	18	5.3	8.415	87.804
2007	1	25	0	5.253	8.077	86.71
2007	1	25	6	4.181	7.362	87.934
2010	12	16	0	4.372	7.564	100.311
2010	12	16	6	5.218	8.081	91.574
2010	12	16	12	5.361	8.391	87.427
2010	12	16	18	5.114	8.159	85.791
2010	12	17	0	4.276	7.955	81.465

Quadro D.7 – Identificação de tempestades (D10).

Ano	Mês	Dia	Horas	Hs [m]	Tm [s]	Dir m [°]
1984	3	2	12	4.505	7.315	70.434
1984	3	2	18	5.548	7.72	67.884
1984	3	3	0	5.05	7.747	67.648
1984	3	3	6	4.721	7.517	69.318
2001	12	21	0	4.74	8.187	70.154
2001	12	21	6	5.142	8.724	75.491
2001	12	21	12	5.877	9.292	79.498
2001	12	21	18	5.287	9.111	75.2
2001	12	22	0	5.32	9.172	73.875
2001	12	22	6	4.899	8.865	66.375
2004	3	25	6	4.011	8.019	57.99
2004	3	25	12	5.179	9.263	71.333
2004	3	25	18	6.068	9.744	76.957
2004	3	26	0	5.758	9.539	77.93
2004	3	26	6	4.558	8.455	67.645
2005	2	27	6	5.772	9.661	79.092

2005	2	27	12	4.75	8.88	74.105
------	---	----	----	------	------	--------

ANEXO E – Procedimento de execução da ferramenta NN_OVERTOPPING2

A ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 é de fácil aplicação e é acompanhada por um manual que contém toda a informação necessária. O procedimento de execução da ferramenta apresenta-se na Figura E.1.

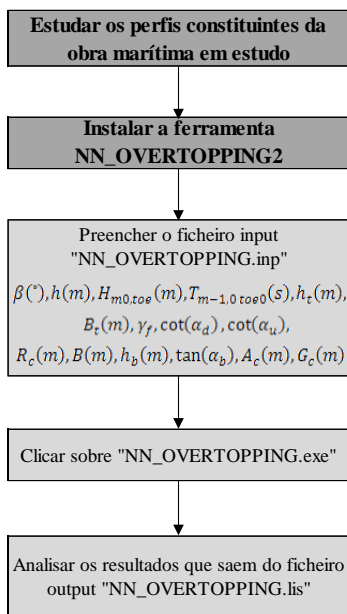


Figura E.1 – Esquema do procedimento de execução do NN_OVERTOPPING2.

De seguida será apresentado o procedimento para a execução do modelo NN_OVERTOPPING2, com mais detalhe.

1. Estudar os perfis constituintes da obra marítima em estudo, identificando e definindo os parâmetros que irão constituir os dados da ferramenta.
2. Instalar a ferramenta NN_OVERTOPPING2.
3. Compreender o sistema NN_OVERTOPPING2: consiste fundamentalmente em três ficheiros, "NN_OVERTOPPING.exe", "NN_OVERTOPPING.ntd" e "NN_OVERTOPPING.lic" (Figura E.2). Estes três ficheiros estarão sempre disponíveis para o utilizador.

O ficheiro "NN_OVERTOPPING.ntd" deve estar no mesmo diretório que o ficheiro "NN_OVERTOPPING.exe", pois é usado por este. Caso o ficheiro seja removido, redefinido, alterado ou corrompido, "NN_OVERTOPPING.exe" bloqueia e cancela de imediato.

“NN_OVERTOPPING.lic” é o ficheiro que contém a licença e que por sua vez, é indispensável para a utilização da ferramenta. Também este ficheiro deve constar na mesma diretoria do “NN_OVERTOPPING.exe”.

```

Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
# Begin NN_OVERTOPPING2 2.030 License FlexLm dd 11.8 06-01-2015
FEATURE NN_OVERTOPPING2 dhsdelft 2.030 01-feb-2016 uncounted \
  VENDOR_STRING="USERNAME='NNOvertopping \
  User';FIRMNAME='Deltares | Delft \
  Hydraulics';PLACE='Rotterdamseweg 185,2629HD Delft';" \
  HOSTID=DEMO SIGN="035B 13CE E859 4A19 0072 ADD3 6BD1 0758 D981 \
  53D7 94E8 E61F 1BE6 888B BF0F 0648 357F AF74 CEFF 9A04 45B2 \
  0F18 EE50 21C9 7E23 8E55 4345 75C3 9AD8 A0F4"
# Einde NN_OVERTOPPING2 2.030 License FlexLm dd 11.8 06-01-2015
  
```

Figura E.2 – Estrutura do ficheiro “NN_OVERTOPPING.lic”.

4. Preencher devidamente o ficheiro “NN_OVERTOPPING.inp” (Figura E.3), que também deve constar na diretoria do programa a executar.

Os valores a introduzir neste ficheiro são os parâmetros que foram estudados anteriormente, de acordo com a seguinte ordem:

[β (°), h (m), H_{m0} , toe (m), $T_{m-1,0}$, $toe0$ (s), h_t (m), B_t (m), γ_f , $\cot(\alpha_d)$, $\cot(\alpha_u)$, R_c (m), B (m), h_b (m), $\tan(\alpha_b)$, A_c (m), G_c (m)]

Caso falte algum dos 15 parâmetros, o programa relatará um erro “NN_OVERTOPPING.err” e cancelará automaticamente a sua execução. É de notar que os parâmetros de entrada devem ser separados por espaços ou vírgulas.

```

Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
|-----|
| Begin input file
| NN_OVERTOPPING_1.INP
| This is a comment record
| =====
| COLUMN#01 Angle of Wave attack
| COLUMN#02 Water depth in front of structure
| COLUMN#03 Significant Wave Height at the toe of structure
| COLUMN#04 Wave period
| COLUMN#05 Water depth at the toe of structure
| COLUMN#06 Width of toe
| COLUMN#07 Roughness coefficient
| COLUMN#08 Angle of down slope
| COLUMN#09 Angle of upper slope
| COLUMN#10 Crest Freeboard in relation to SWL
| COLUMN#11 Berm Width
| COLUMN#12 Water depth at the berm of the structure
| COLUMN#13 Berm slope
| COLUMN#14 Armour Freeboard in relation to SWL
| COLUMN#15 Armour width
| =====
| and this is another comment record
| * as well as this one, and the next five ones
|-----|
|0 1 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15
|b h Hm0 Tm-1,0 ht Bt gf cotad cotau Rc B hb tanaB Ac Gc
|degr m toe(m) toe(s) m m m m m m m m m m m m m
|-----|
|
| 0 2.0 0.5 5.0 2.0 0.0 0.9 0.0 0.0 0.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
| 0 0.2 0.1 2.0 0.15 0.0 0.5 1.5 1.5 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 0.2
| 15 4.0 2.0 5.0 1.4 8.0 1.0 0.0 0.0 5.0 0.0 0.0 0.0 3.0 1.0
| 45 0.2 0.1 1.2 0.1 0.2 0.5 1.5 1.5 0.15 0.0 0.0 0.0 0.2 0.4
| 0 1.0 0.1 5.0 1.0 0.0 1.0 6.0 6.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 0.0
|
| The columns do not need to be aligned
| End of input file NN_OVERTOPPING_1.INP
  
```

Figura E.3 – Estrutura do ficheiro “NN_OVERTOPPING.inp”.

5. Clicar sobre “NN_OVERTOPPING.exe”. O executável do programa permite prever os caudais médios galgados sobre estruturas portuárias, de acordo com os dados introduzidos pelo utilizador.

Sempre que a ferramenta é executada, gera-se o ficheiro *output* “NN_OVERTOPPING.lis”, destruindo o que possa ter sido gerado na corrida anterior.

Durante a execução do modelo é também gerado um ficheiro “NN_OVERTOPPING.err”, que será eliminado automaticamente antes da aplicação terminar caso o programa não apresente erros durante a sua execução.

6. Analisar os resultados da ferramenta guardados no ficheiro “NN_OVERTOPPING.lis” (Figura E.4).

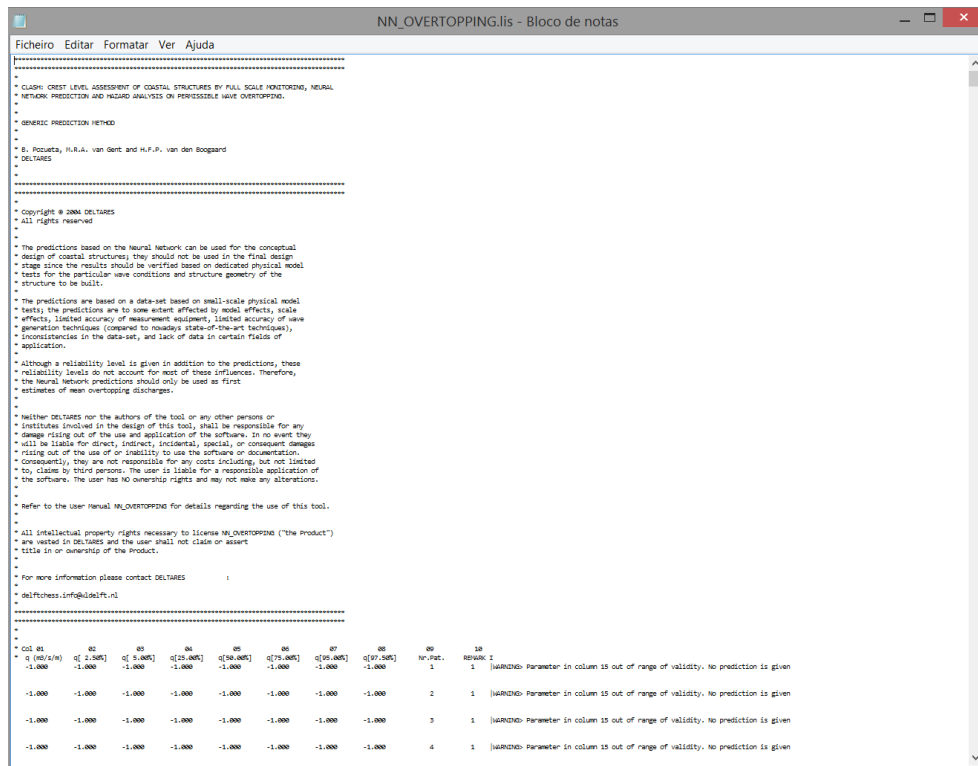


Figura E.4 – Estrutura do ficheiro “NN_OVERTOPPING2.lis”.

As primeiras nove colunas do ficheiro “NN_OVERTOPPING.lis” contém os resultados numéricos do modelo, enquanto nas restantes são apresentados os erros e avisos provenientes da má definição dos dados da ferramenta (Figura E.5).

Col 01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
q (m ³ /s/m)	q[2.50%]	q[5.00%]	q[25.00%]	q[50.00%]	q[75.00%]	q[95.00%]	q[97.50%]	Nr.Pat.	REMARK I
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	2	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	3	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	4	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	5	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	6	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	7	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	8	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	9	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	10	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	11	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	12	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	13	1 WARNING> Parameter in column 15 out of range of validity.

Figura E.5 – Identificação das duas partes do ficheiro: a) *output* numérico; b) *output* erros/avisos.

Na primeira coluna está o caudal médio galgado (q) previsto pela ferramenta, e nas colunas seguintes, numeradas de 2 a 8, apresentam-se os quantis ($q_{2.5\%}$, $q_{5\%}$, $q_{25\%}$, $q_{50\%}$, $q_{75\%}$, $q_{95\%}$ e $q_{97.5\%}$). A coluna 9 identifica a ordem de entrada para uma determinada simulação, onde constam os respetivos 15 parâmetros de entrada. Por outro lado, o *output* de erros e avisos é composto por duas colunas, sendo a primeira a identificação do tipo de erro/aviso (coluna 10), e a segunda a descrição e explicação do mesmo.

No presente estudo, obtiveram-se os seguintes erros/avisos:

- 1 |WARNING> Parameter in column 5 out of range of validity. No prediction is given|**

Ou seja, o parâmetro da coluna 5 (h_t) está fora do intervalo de validade da ferramenta. No entanto, um aviso deste género pode surgir para todos os parâmetros de entrada. O Quadro E.1 apresenta o intervalo de valores para cada parâmetro de entrada, desde que $H_{m0}=1.0$ m.

Recorre-se ao fator de escala, N_L , que representa uma escala de comprimentos, determinada pela razão entre a altura de onda $H_{m0}=1$ m e altura de onda medida (Equação E.1), por forma a verificar-se a compatibilidade de um parâmetro introduzido com os limites aplicáveis pela ferramenta. Assim sendo, multiplica-se o parâmetro em causa pelo fator de escala (substituindo H_{m0} (medido) pela altura espectral do ensaio) e confirma-se se o valor pertence ao intervalo.

$$N_L = \frac{H_{m0}}{H_{m0} \text{ (medido)}} \quad [E.1]$$

Quadro E.1 – Gama de possíveis valores de *input* para o NN_OVERTOPPING2 (referente a $H_{m0} = 1.0$ m)

Parâmetro		Máximo	Mínimo
H_{m0}	[m]	1.0	1.0
$s_{m-1,0}$		0.005	0.07
β		80.0	0.0
h	[m]	20.0	0.9
h_t	[m]	20.0	0.5
B_t	[m]	10.0	0.0
γ_f		1.0	0.3
$\cot \alpha_d$		10.0	0.0
$\cot \alpha_u$		10.0	-1.0
B	[m]	15.0	0.0
h_b	[m]	5.0	-1.0
$\tan \alpha_b$		0.1	0.0
R_c	[m]	5.0	0.5
A_c	[m]	5.0	0.0
G_c	[m]	10.0	0.0

3 [WARNING> For $Q < 10^{-6}$, no prediction is given]

Neste caso, o modelo não fornece nenhum resultado significativo, apresentando um resultado com dimensão muito reduzida abaixo de 10^{-6} . Este resultado apenas é calculável quando se aplica a Equação E.2 (ainda se multiplica por 10^3 para se obter o resultado em l/s/m).

$$Q = \frac{q}{\sqrt{g \times H_s^3}} \leftrightarrow q = Q \times \sqrt{g \times H_s^3} \quad [E.2]$$

4 [REMARK> For prototype, rough-sloping structures, a correction factor is applied: $q = 0.3898E-03$]

O erro tipo 4 surge quando se modelam estruturas em talude e rugosas ($\gamma_f < 0.9$ e $\cot(\alpha) > 1$), onde é necessário aplicar um coeficiente de correção sobre o valor de

caudal determinado. Tem-se a possibilidade de escolher entre o valor determinado pela ferramenta ou o valor corrigido, que contabiliza os efeitos de escala e de vento.

5 |REMARK> For prototype, rough-sloping structures, a correction factor is applied: $q= 0.6025E-04$ Since $10^{-6} < Q < 10^{-5}$, the NN prediction is less reliable (indicative)|

Por fim, este tipo de erro surge quando se modelam estruturas em talude e rugosas ($\gamma_f < 0.9$ e $\cot(\alpha) > 1$), onde é necessário aplicar um coeficiente de correção sobre o valor de caudal determinado. Existe a possibilidade de escolher entre o valor determinado pela ferramenta ou o valor corrigido, que contabiliza os efeitos de escala e de vento. O utilizador também é informado que, quando se obtém este tipo de erro, o caudal tem valores compreendidos entre $10^{-6} < Q < 10^{-5}$, e portanto não são completamente fiáveis havendo a necessidade, se aplicar a Equação E.2, para se obter os valores de q .

ANEXO F – Resultados da ferramenta NN_OVERTOPPING2

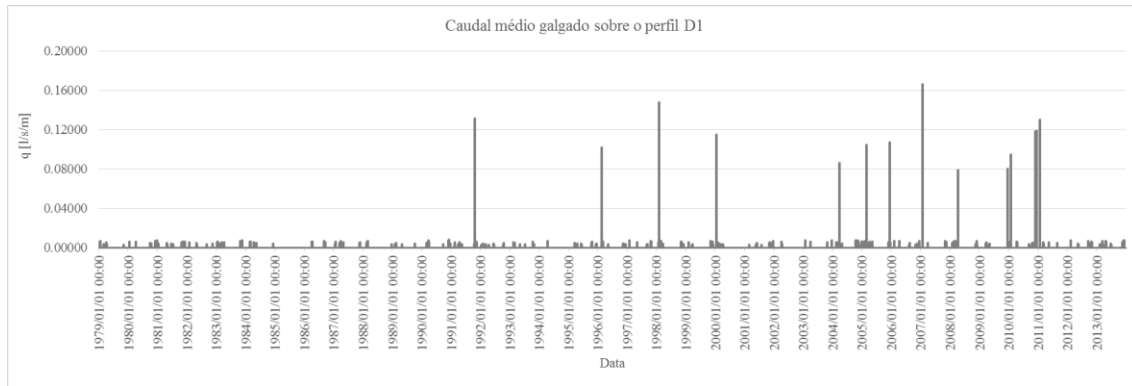


Gráfico F.1 – Série temporal de caudais médios galgados sobre o ponto D1 (pertencente à Defesa Frontal).

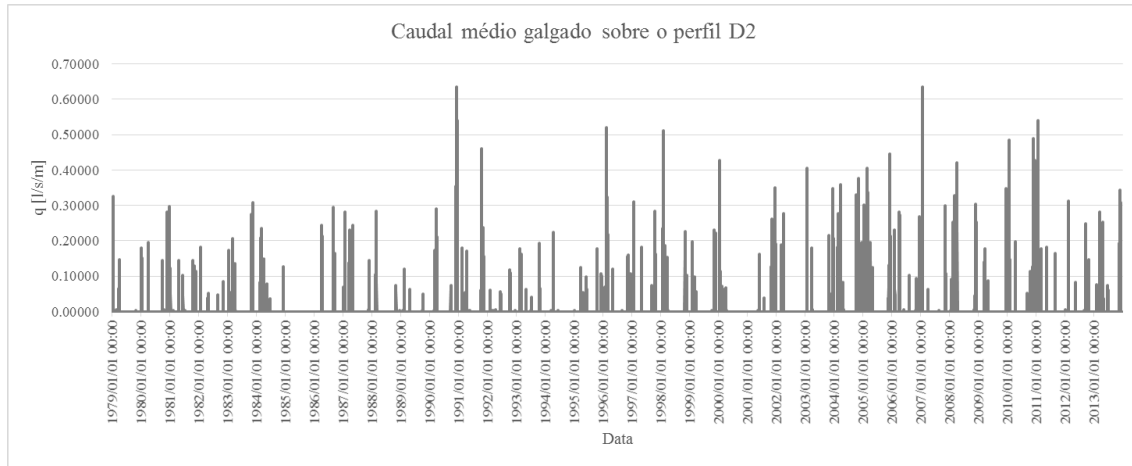


Gráfico F.2 – Série temporal de caudais médios galgados sobre o ponto D2 (pertencente à Defesa Frontal).

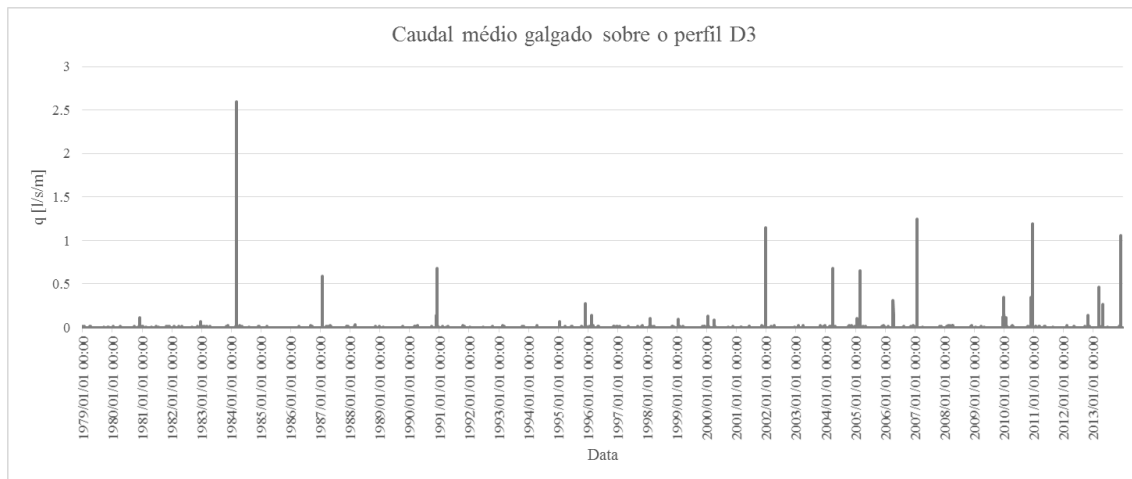


Gráfico F.3 - Série temporal de caudais médios galgados sobre o ponto D3 (pertencente ao Quebra-mar Sul).

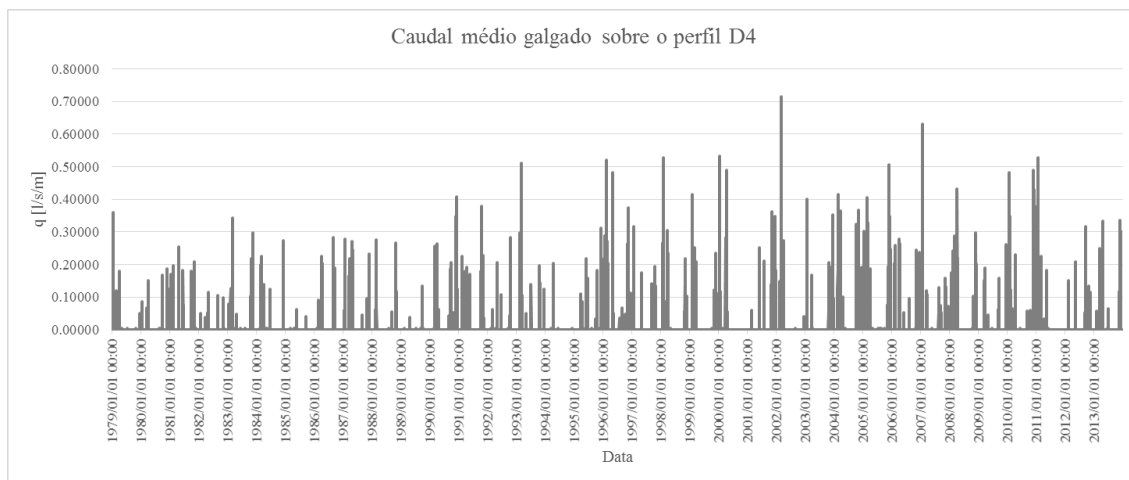


Gráfico F.4 - Série temporal de caudais médios galgados sobre o ponto D4 (pertencente à Defesa Frontal).

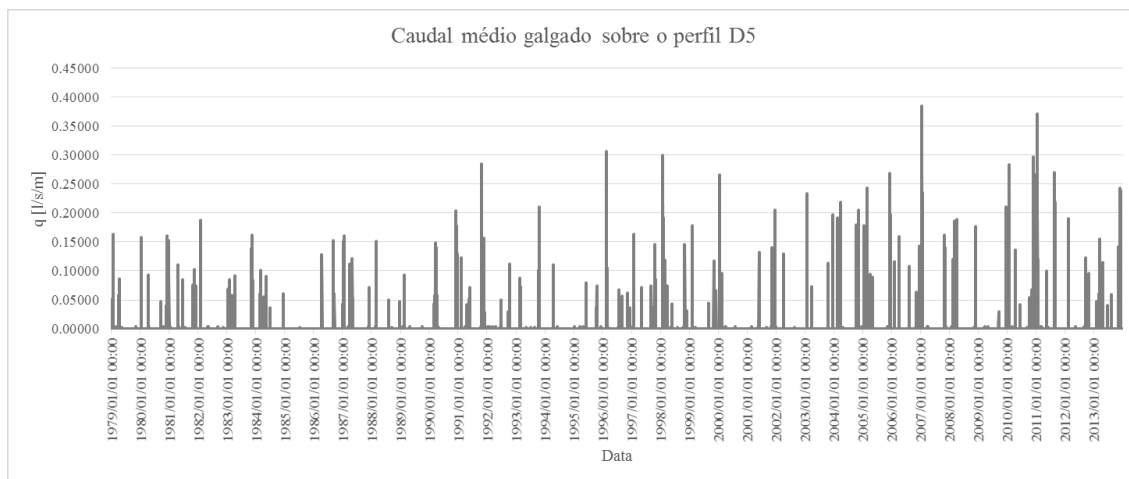


Gráfico F.5 - Série temporal de caudais médios galgados sobre o ponto D5 (pertencente à Defesa Frontal).

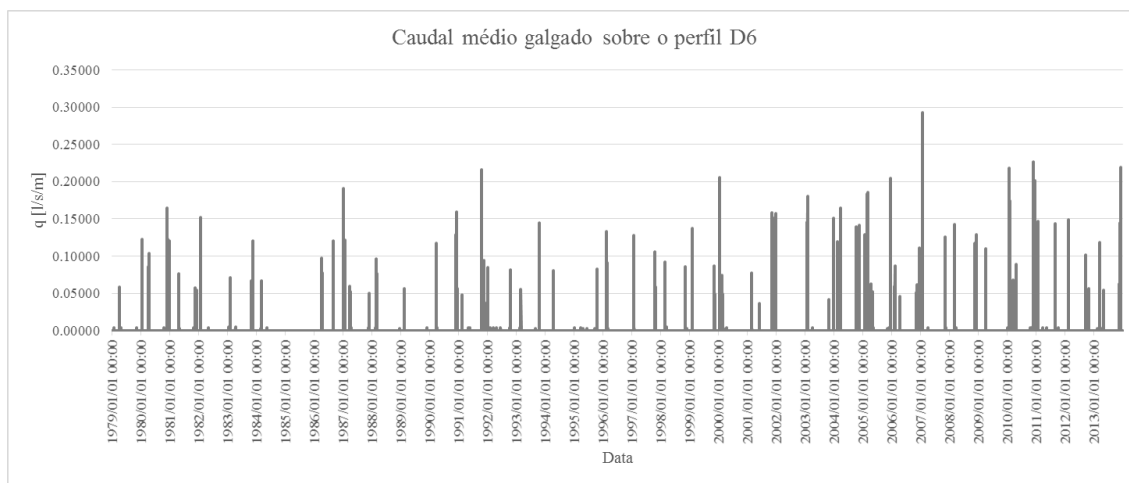


Gráfico F.6 - Série temporal de caudais médios galgados sobre o ponto D6 (pertencente à Defesa Frontal).

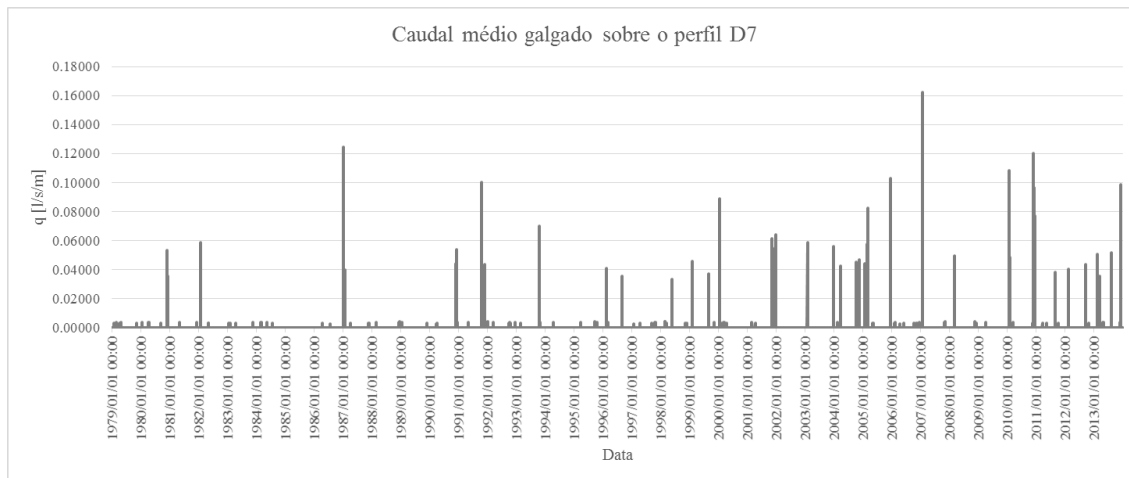


Gráfico F.7 - Série temporal de caudais médios galgados sobre o ponto D7 (pertencente à Defesa Frontal).

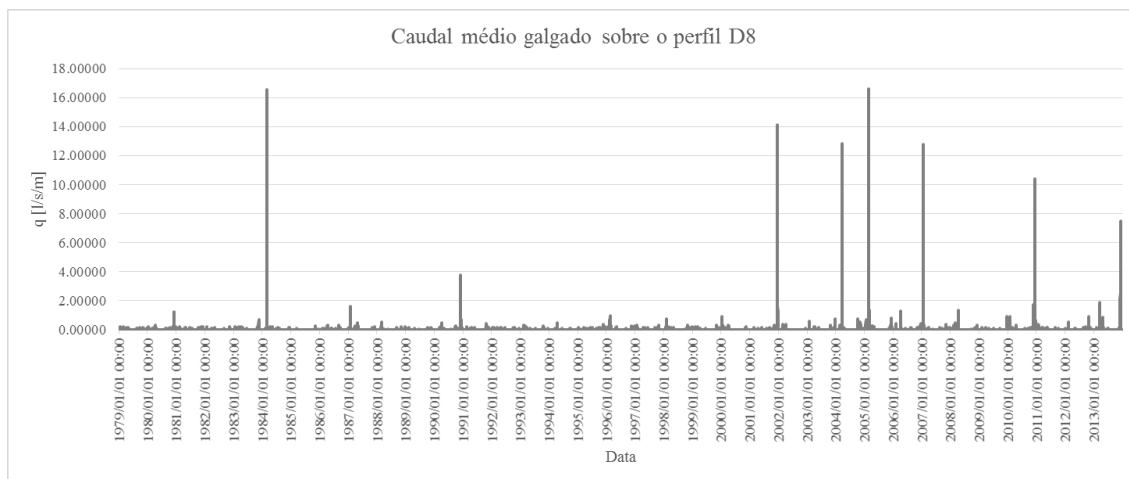


Gráfico F.8 - Série temporal de caudais médios galgados sobre o ponto D8 (pertencente ao Quebra-mar Sul).

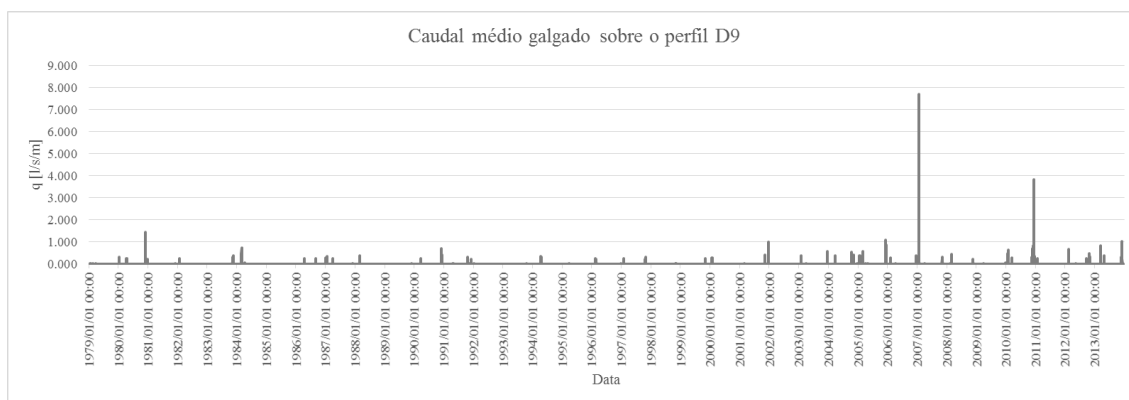


Gráfico F.9 - Série temporal de caudais médios galgados sobre o ponto D9 (pertencente ao Quebra-mar norte).

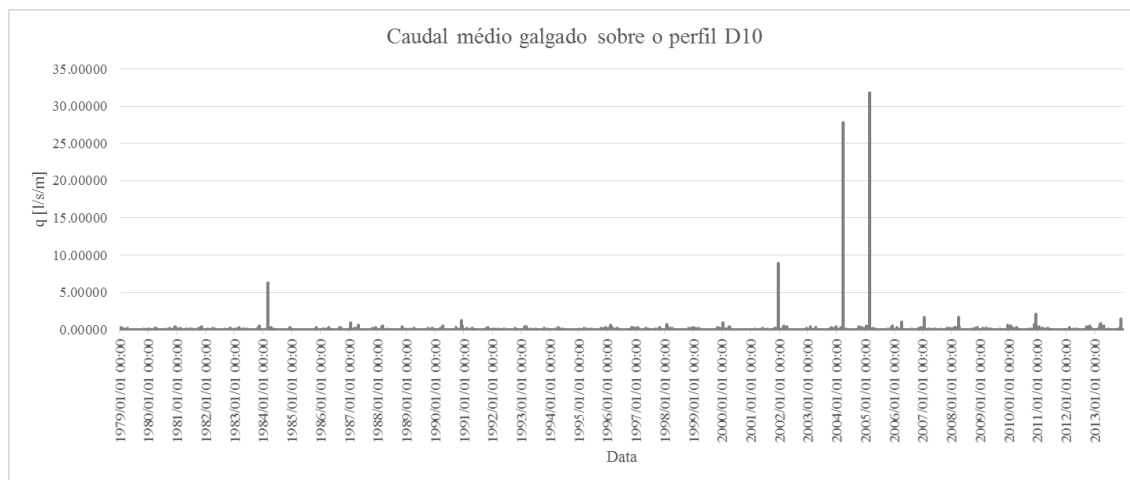


Gráfico F.10 – Série temporal de caudais médios galgados sobre o ponto D10 (pertencente ao Quebra-mar sul).

ANEXO G – Procedimento de execução da ferramenta ArcGIS

O ArcGIS 10.4.1 é um conjunto de aplicações computacionais de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desenvolvido pela empresa norte-americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) que fornece ferramentas avançadas para a análise espacial, armazenamento, manipulação e processamento de dados geográficos e cartografia (Booth & Mitchell, 2001).

De modo a elaborar-se o mapa de consequências após a ocorrência de galgamentos, recorreu-se à ferramenta *ModelBuilder*, que apresenta como resultado um fluxograma, onde se insere a sequência de todas as operações aplicadas até se obter o mapa de consequências, bem como o tratamento dos dados ao longo de todo o processo.

Antes de se iniciar o processo deve-se definir o sistema de coordenadas. Selecionou-se o sistema projetado WGS 1984 UTM Zone 26N, sendo adequado para o hemisfério norte, com longitudes compreendidas entre 30°W e 24°W (Figura G.1).

Iniciou-se por se identificar a ilha Terceira no documento (Figura G.2).



Figura G.1 – Representação da área abrangida pelo sistema de coordenadas escolhido [32].

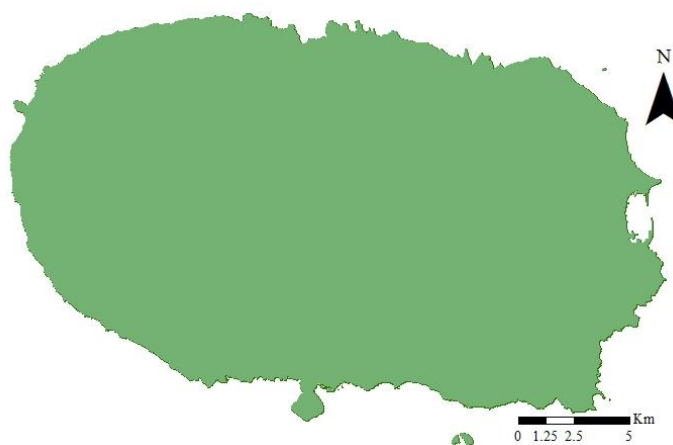


Figura G.2 – Apresentação da ilha Terceira.

Os dados referentes ao critério da Densidade populacional provêm dos Censos 2011, fornecidos pelo INE (Instituto Nacional de Estatística), disponibilizados ao nível de cada subsecção estatística, aglomerando a informação da população residente na vila da Praia da Vitória [33].

Através da utilização do *software* ArcGIS, ligou-se a *shapefile* que contém os polígonos correspondentes a cada subsecção estatística, à tabela que contém a informação dos Censos 2011, através do GEO_COD.

Tendo em consideração que apenas se pretende contabilizar a população residente, houve necessidade em aplicar um *dissolve*, para resumir a informação disponibilizada. Seguidamente, calculou-se a área de cada subsecção estatística através da função *project* e de modo a determinar a distribuição da população por km², criou-se um novo atributo que definido pela divisão da população residente em cada subsecção pela área da mesma.

Converteram-se os polígonos existentes para formato *raster*, criou-se um mosaico (*Mosaic to new raster*), classificou-se cada uma das classes obtidas através de números inteiros que estabelecem a ordem de prioridade (1 – 8) e, por fim, aplicou-se a ferramenta *Con*, com o objetivo de criar um sistema binário (quando o mapa identifica elementos é-lhes atribuído o valor de 1, caso contrário o valor de 0) (Figura G.3).

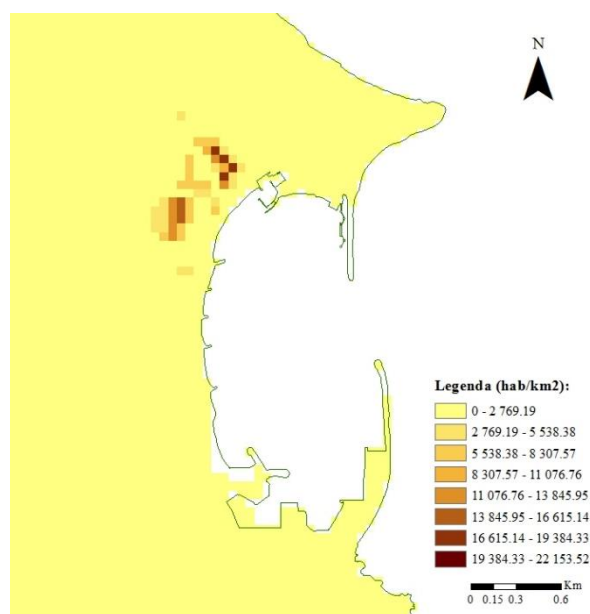


Figura G.3 – Apresentação dos subcritérios de Densidade populacional, inseridos no domínio de estudo.

Relativamente ao critério do Uso do solo, houve necessidade de recorrer à ferramenta *Select* para extrair informação de nove *layers* (espaço urbanizável, espaço urbano, espaço infraestruturado, espaço balnear, espaço industrial, espaço florestal, espaço agrícola, sub-espaço natural e espaço de indústria extractiva), passando as mesmas a ser consideradas atributos. Devido ao facto destas *layers* se apresentarem sob o formato de polilinhas houve necessidade de convertê-las para formato *raster*, criou-se novamente um mosaico (*Mosaic to new raster*), atribuiu-se uma classificação de acordo com a ordem de prioridade (1 – 9), e por fim, criou-se um mosaico (*Mosaic to new raster*) seguido da aplicação da ferramenta *Con* (Figura G.4).

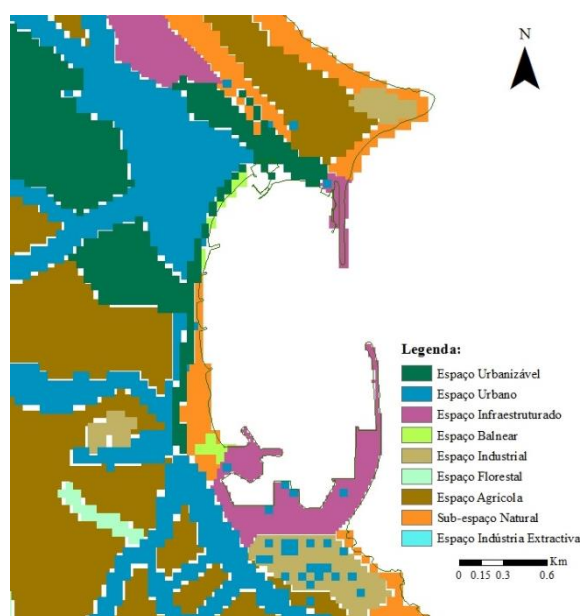


Figura G.4 – Apresentação dos subcritérios de Uso do solo, inseridos no domínio de estudo.

Para o estudo do critério Caudal médio galgado, houve necessidade de criar uma *shapefile*, onde foram desenhados os polígonos que representam, de forma abrangente, o máximo do caudal médio galgado obtido através da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2. Converteram-se os polígonos para formato *raster*, criou-se um mosaico, classificou-se cada um dos atributos através da ordem de prioridade (1 – 7) e aplicou-se a ferramenta *Con* (Figura G.5).

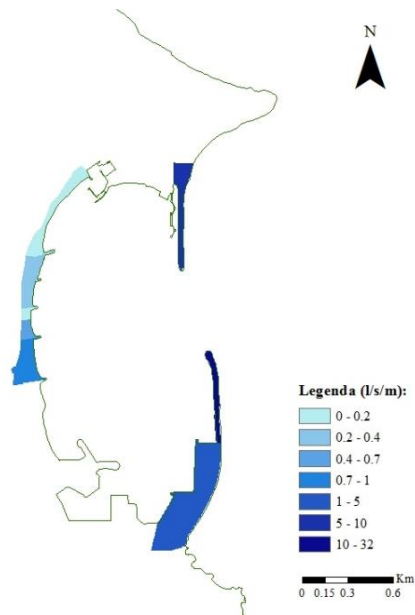


Figura G.5 – Apresentação dos subcritérios de Caudal médio galgado, inseridos no domínio de estudo.

No critério Altimetria foi utilizada uma malha TINGRID, já em formato *raster*, criou-se um mosaico, atribuiu-se uma classificação a cada um dos intervalos de alturas (1 – 6) e aplicou-se a ferramenta *Con* (Figura G.6).

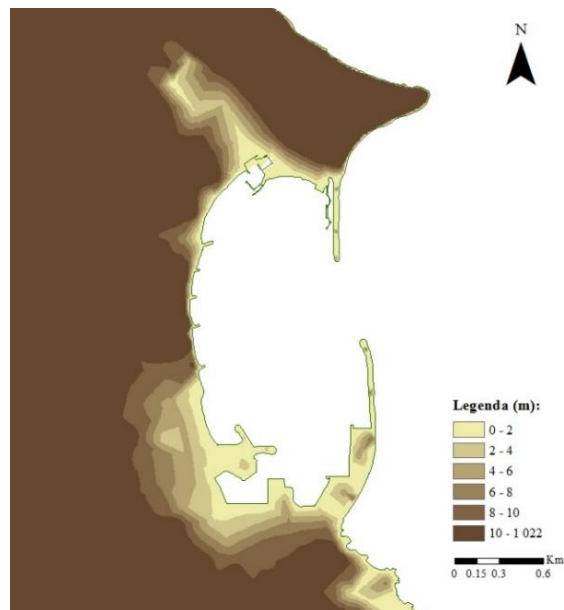


Figura G.6 – Apresentação dos subcritérios de Altimetria, inseridos no domínio de estudo.

Por fim, o critério da Rede viária apresenta-se sob o formato de linhas e como tal, aplicou-se um *Buffer* de 15 m de largura. Deste modo, o mapa ficou mais perceptível, beneficiando de uma melhor apresentação. Seguidamente, converteu-se para o formato *raster*, classificou-se

cada um dos atributos através da ordem de prioridade (1 – 5) e aplicou-se a ferramenta *Con* (Figura G.7).

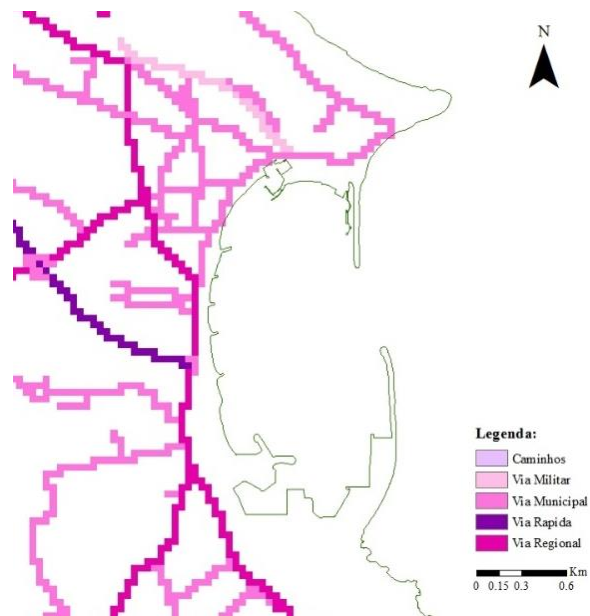


Figura G.7 – Apresentação dos subcritérios de Rede viária, inseridos no domínio de estudo.

Após todo o tratamento de dados e de modo a conseguir atribuir os pesos obtidos pela metodologia AHP, aplicou-se a ferramenta *Weighted Sum*, onde podem ser inseridos valores decimais.

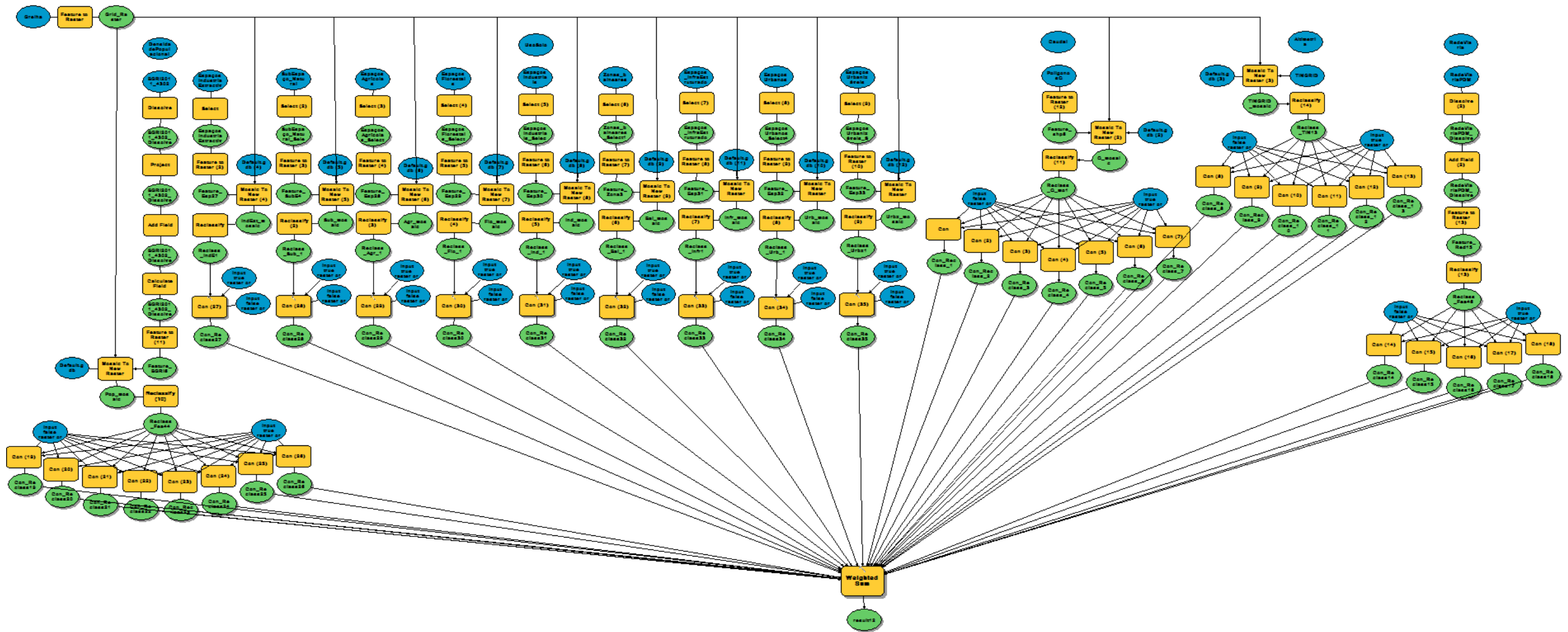


Figura G.8 – Esquema feito pela ferramenta *Model Builder*, do ArcGis.

ANEXO H – Resultados da metodologia *Analytic Network Process* (ANP)

Quadro H.1 – Definição da matriz binária (U).

	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC1.4	SC1.5	SC1.6	SC1.7	SC1.8	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	SC4.1	SC4.2	SC4.3	SC4.4	SC4.5	SC4.6	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4	SC5.5			
SC1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
SC1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
SC1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
SC1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC2.1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
SC2.2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
SC2.3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
SC2.4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
SC2.5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
SC2.6	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
SC2.7	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
SC2.8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
SC2.9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
SC3.1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
SC3.2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
SC3.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
SC3.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
SC3.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
SC3.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
SC3.7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
SC4.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
SC4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC4.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC5.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SC5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Matriz de comparação entre o critério Densidade populacional e Uso do solo/Caudal médio galgado

Quadro H.2 – Matriz de comparação entre os subcritérios SC1.1 e 2 e os subcritérios incluídos nos critérios Uso do Solo e Caudal médio galgado.

SC1.1, 2	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC2.1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.200	0.200	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.025
SC2.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.032
SC2.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.032
SC2.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.032
SC2.5	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.051
SC2.6	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.071
SC2.7	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.071
SC2.8	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.071
SC2.9	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.071
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.167	0.143	0.125	0.111	0.035
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.143	0.039
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.046
SC3.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.058
SC3.5	3.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.080
SC3.6	5.000	3.000	3.000	3.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.110
SC3.7	7.000	5.000	5.000	5.000	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000	9.000	7.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.174

RC = 6.569%

Quadro H.3 – Matriz de comparação entre os subcritérios SC1.3 e 4 e os subcritérios incluídos nos critérios Uso do Solo e Caudal médio galgado.

SC1.3, 4	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC2.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.032
SC2.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.044
SC2.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.044
SC2.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.044
SC2.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.049
SC2.6	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.057
SC2.7	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.057
SC2.8	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.057
SC2.9	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.057
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.167	0.143	0.125	0.111	0.035
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.143	0.039
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.046
SC3.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.058
SC3.5	3.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.083
SC3.6	5.000	3.000	3.000	3.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.116
SC3.7	7.000	5.000	5.000	5.000	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000	9.000	7.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.182

RC = 5.851%

Quadro H.4 – Matriz de comparação entre os subcritérios SC1.5 e 6 e os subcritérios incluídos nos critérios Uso do Solo e Caudal médio galgado.

SC1.5, 6	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC2.1	1.000	0.500	0.500	0.500	0.250	0.167	0.167	0.167	0.167	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.111	0.017
SC2.2	2.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.026
SC2.3	2.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.026
SC2.4	2.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.026
SC2.5	4.000	2.000	2.000	2.000	1.000	0.500	0.500	0.500	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.043
SC2.6	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.072
SC2.7	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.072
SC2.8	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.072
SC2.9	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.072
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.167	0.143	0.125	0.111	0.032
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.143	0.037
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.044
SC3.4	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.058
SC3.5	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.083
SC3.6	7.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.119
SC3.7	9.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	9.000	7.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.199

RC = 6.420%

Quadro H.5 – Matriz de comparação entre os subcritérios SC1.7 e 8 e os subcritérios incluídos nos critérios Uso do Solo e Caudal médio galgado.

SC1.7, 8	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC2.1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.200	0.200	0.200	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.111	0.021
SC2.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.029
SC2.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.029
SC2.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.029
SC2.5	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.047
SC2.6	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.066
SC2.7	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.066
SC2.8	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.066
SC2.9	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.066
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.167	0.143	0.125	0.111	0.032
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.143	0.037
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.044
SC3.4	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.059
SC3.5	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.085
SC3.6	7.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.123
SC3.7	9.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	9.000	7.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.203

RC = 5.929%

Matriz de comparação entre o critério Uso do solo e Densidade populacional/Caudal médio galgado/Rede viária

Quadro H.6 – Matriz de comparação entre o subcritério SC2.1 e os subcritérios incluídos nos critérios Densidade populacional, Caudal médio galgado e Rede viária.

SC2.1	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC1.4	SC1.5	SC1.6	SC1.7	SC1.8	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4	SC5.5	Relative weight
SC1.1	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019
SC1.2	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023
SC1.3	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028
SC1.4	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035
SC1.5	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044
SC1.6	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.057
SC1.7	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072
SC1.8	9.000	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.093
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.046
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.048
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.051
SC3.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.055
SC3.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.063
SC3.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.071
SC3.7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	9.000	7.000	5.000	3.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.102
SC5.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.033
SC5.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.033
SC5.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.036
SC5.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.036
SC5.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.056

RC = 0.455%

Quadro H.7 – Matriz de comparação entre os subcritérios SC2.2, 3, 4 e os subcritérios incluídos nos critérios Densidade populacional, Caudal médio galgado e Rede viária.

SC2.2, 3, 4	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC1.4	SC1.5	SC1.6	SC1.7	SC1.8	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4	SC5.5	Relative weight
SC1.1	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019
SC1.2	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022
SC1.3	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027
SC1.4	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034
SC1.5	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041
SC1.6	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
SC1.7	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067
SC1.8	9.000	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.044
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.046
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.049
SC3.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.053
SC3.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.061
SC3.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	7.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.077
SC3.7	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	5.000	5.000	9.000	7.000	5.000	3.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.118
SC5.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.033
SC5.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.033
SC5.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.036
SC5.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.036
SC5.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.062

RC = 2.245%

Quadro H.8 – Matriz de comparação entre o subcritério SC2.5 e os subcritérios incluídos nos critérios Densidade populacional, Caudal médio galgado e Rede viária.

SC2.5	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC1.4	SC1.5	SC1.6	SC1.7	SC1.8	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4	SC5.5	Relative weight
SC1.1	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
SC1.2	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023
SC1.3	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026
SC1.4	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032
SC1.5	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038
SC1.6	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049
SC1.7	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
SC1.8	9.000	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.041
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.044
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.046
SC3.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.051
SC3.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.068
SC3.6	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	5.000	5.000	7.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.093
SC3.7	1.000	1.000	3.000	3.000	5.000	5.000	7.000	7.000	9.000	7.000	5.000	3.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.132
SC5.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.034
SC5.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.034
SC5.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.037
SC5.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.037
SC5.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.059

RC = 4.154%

Quadro H.9 – Matriz de comparação entre os subcritérios SC2.6, 7, 8 e 9 e os subcritérios incluídos nos critérios Densidade populacional, Caudal médio galgado e Rede viária.

SC2.6, 7, 8, 9	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC1.4	SC1.5	SC1.6	SC1.7	SC1.8	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4	SC5.5	Relative weight
SC1.1	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017
SC1.2	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
SC1.3	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022
SC1.4	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028
SC1.5	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033
SC1.6	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043
SC1.7	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.111	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.051
SC1.8	9.000	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.111	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.064
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.039
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.042
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.044
SC3.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.056
SC3.5	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.072
SC3.6	1.000	1.000	3.000	3.000	5.000	5.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.099
SC3.7	3.000	3.000	5.000	5.000	7.000	7.000	9.000	9.000	9.000	7.000	5.000	3.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.137
SC5.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.200	0.027
SC5.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.033
SC5.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.038
SC5.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.049
SC5.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	5.000	5.000	3.000	3.000	1.000	1.000	0.086

RC = 7.988%

Matriz de comparação entre o critério Caudal médio galgado e Densidade populacional/Use do solo/Caudal médio galgado/Altimetria/Rede viária

Quadro H.10 – Matriz de comparação entre os subcritérios SC3.1, 2, 3, 4 e 5 e os subcritérios incluídos nos critérios Densidade populacional, Uso do Solo, Altimetria e Rede viária.

SC3.1, 2, 3, 4, 5	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC1.4	SC1.5	SC1.6	SC1.7	SC1.8	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC4.1	SC4.2	SC4.3	SC4.4	SC4.5	SC4.6	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4	SC5.5	Relative weight
SC1.1	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023
SC1.2	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	3.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
SC1.3	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	3.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033
SC1.4	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	5.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044
SC1.5	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	5.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050
SC1.6	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	7.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072
SC1.7	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	7.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082
SC1.8	9.000	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	7.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.093
SC2.1	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.200	0.200	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	3.000	5.000	7.000	0.031
SC2.2	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	3.000	5.000	0.023
SC2.3	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	3.000	5.000	0.023
SC2.4	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	3.000	5.000	0.023
SC2.5	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.200	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	0.024
SC2.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.029
SC2.7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.029
SC2.8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.029
SC2.9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.029
SC4.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012
SC4.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026
SC4.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026
SC4.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
SC4.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	3.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047
SC4.6	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	5.000	5.000	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.083
SC5.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.013
SC5.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.015
SC5.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.019
SC5.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.024
SC5.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.143	0.200	0.200	0.200	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.000	5.000	3.000	1.000	1.000	0.034

RC = 0.890%

Quadro H.11 – Matriz de comparação entre o subcritério SC3.6 e os subcritérios incluídos nos critérios Densidade populacional, Uso do Solo, Altimetria e Rede viária.

SC3.6	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC1.4	SC1.5	SC1.6	SC1.7	SC1.8	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC4.1	SC4.2	SC4.3	SC4.4	SC4.5	SC4.6	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4	SC5.5	Relative weight
SC1.1	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025
SC1.2	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	3.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032
SC1.3	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	3.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035
SC1.4	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	5.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046
SC1.5	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	5.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.052
SC1.6	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	7.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.077
SC1.7	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	7.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.088
SC1.8	9.000	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	7.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.102
SC2.1	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.200	0.200	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	0.034
SC2.2	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	3.000	5.000	7.000	0.026
SC2.3	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	3.000	5.000	7.000	0.026
SC2.4	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	3.000	5.000	7.000	0.026
SC2.5	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.200	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	3.000	5.000	0.026
SC2.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	0.030
SC2.7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	0.030
SC2.8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	0.030
SC2.9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	0.030
SC4.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012
SC4.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026
SC4.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026
SC4.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029
SC4.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035
SC4.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	3.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.065
SC5.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.013
SC5.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.014
SC5.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.016
SC5.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.143	0.200	0.200	0.200	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.022
SC5.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111	0.143	0.143	0.143	0.200	0.333	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.000	5.000	3.000	1.000	1.000	0.026

RC = 2.786%

Quadro H.12 – Matriz de comparação entre o subcritério SC3.7 e os subcritérios incluídos nos critérios Densidade populacional, Uso do Solo, Altimetria e Rede viária.

SC3.7	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC1.4	SC1.5	SC1.6	SC1.7	SC1.8	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC4.1	SC4.2	SC4.3	SC4.4	SC4.5	SC4.6	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4	SC5.5	Relative weight
SC1.1	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.111	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024
SC1.2	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	3.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
SC1.3	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	3.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033
SC1.4	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	5.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043
SC1.5	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	0.200	5.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049
SC1.6	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	0.250	7.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072
SC1.7	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	0.333	7.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.081
SC1.8	9.000	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	1.000	7.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.093
SC2.1	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	1.000	0.500	0.500	0.500	0.250	0.167	0.167	0.167	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	0.033
SC2.2	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	2.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	3.000	5.000	7.000	0.025
SC2.3	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	2.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	3.000	5.000	7.000	0.025
SC2.4	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.143	0.143	0.143	2.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	3.000	5.000	7.000	0.025
SC2.5	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.200	0.200	0.200	4.000	2.000	2.000	2.000	1.000	0.500	0.500	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	3.000	5.000	0.025
SC2.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	0.032
SC2.7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	0.032
SC2.8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	0.032
SC2.9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	0.032
SC4.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012
SC4.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026
SC4.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026
SC4.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
SC4.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	3.000	3.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047
SC4.6	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	5.000	5.000	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.083
SC5.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.013
SC5.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.014
SC5.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.016
SC5.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.143	0.200	0.200	0.200	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.022
SC5.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111	0.143	0.143	0.143	0.200	0.333	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.000	5.000	3.000	1.000	1.000	0.026

RC = 8.342%

Matriz de comparação entre o critério Altimetria e Caudal médio galgado

Quadro H.13 – Matrizes de comparação entre o subcritério SC4 e os subcritérios incluídos no critério Caudal médio galgado.

SC4.1	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.094
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.127
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.139
SC3.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.139
SC3.5	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.150
SC3.6	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.161
SC3.7	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.190

RC = 3.450%

SC4.3	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC3.1	1.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	0.051
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.087
SC3.3	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.131
SC3.4	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.152
SC3.5	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.169
SC3.6	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.187
SC3.7	6.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.223

RC = 3.774%

SC4.5	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC3.1	1.000	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.125	0.027
SC3.2	3.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	0.051
SC3.3	4.000	2.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.093
SC3.4	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.125
SC3.5	6.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.173
SC3.6	7.000	5.000	3.000	2.000	1.000	1.000	1.000	0.234
SC3.7	8.000	6.000	4.000	3.000	2.000	1.000	1.000	0.297

RC = 2.135%

SC4.2	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC3.1	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.073
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.109
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.138
SC3.4	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.147
SC3.5	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.155
SC3.6	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.178
SC3.7	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.200

RC = 4.580%

SC4.4	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC3.1	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167	0.143	0.035
SC3.2	2.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.067
SC3.3	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.112
SC3.4	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.146
SC3.5	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.177
SC3.6	6.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.206
SC3.7	7.000	5.000	3.000	2.000	1.000	1.000	1.000	0.256

RC = 2.302%

SC4.6	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC3.1	1.000	0.500	0.333	0.167	0.143	0.125	0.111	0.025
SC3.2	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.143	0.043
SC3.3	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.066
SC3.4	6.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.109
SC3.5	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.161
SC3.6	8.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.239
SC3.7	9.000	7.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.358

RC = 3.008%

Matriz de comparação entre o critério Rede viária e Uso do solo/Caudal médio galgado

Quadro H.14 – Matriz de comparação entre os subcritérios SC5.1, 2 e os subcritérios incluídos nos critérios Uso do Solo e Caudal médio galgado.

SC5.1, 2	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC2.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.032
SC2.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.044
SC2.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.044
SC2.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.200	0.044
SC2.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.049
SC2.6	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.057
SC2.7	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.057
SC2.8	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.057
SC2.9	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.057
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.167	0.143	0.125	0.111	0.035
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.143	0.039
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.046
SC3.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.058
SC3.5	3.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.083
SC3.6	5.000	3.000	3.000	3.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.116
SC3.7	7.000	5.000	5.000	5.000	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000	9.000	7.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.182

RC = 5.851%

Quadro H.15 – Matriz de comparação entre os subcritérios SC5.3, 4 e os subcritérios incluídos nos critérios Uso do Solo e Caudal médio galgado.

SC5.3, 4	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC2.1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.200	0.200	0.200	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.167	0.143	0.023
SC2.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.167	0.031
SC2.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.167	0.031
SC2.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.167	0.031
SC2.5	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.050
SC2.6	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.070
SC2.7	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.070
SC2.8	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.070
SC2.9	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.070
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.167	0.143	0.125	0.111	0.034
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.143	0.039
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.045
SC3.4	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.059
SC3.5	4.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.080
SC3.6	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.116
SC3.7	7.000	6.000	6.000	6.000	4.000	2.000	2.000	2.000	2.000	9.000	7.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.181

RC = 6.301%

Quadro H.16 – Matriz de comparação entre o subcritério SC5.5 e os subcritérios incluídos nos critérios Uso do Solo e Caudal médio galgado.

SC5.5	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC2.4	SC2.5	SC2.6	SC2.7	SC2.8	SC2.9	SC3.1	SC3.2	SC3.3	SC3.4	SC3.5	SC3.6	SC3.7	Relative weight
SC2.1	1.000	0.500	0.500	0.500	0.250	0.167	0.167	0.167	0.167	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.111	0.017
SC2.2	2.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.026
SC2.3	2.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.026
SC2.4	2.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.143	0.026
SC2.5	4.000	2.000	2.000	2.000	1.000	0.500	0.500	0.500	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.200	0.043
SC2.6	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.072
SC2.7	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.072
SC2.8	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.072
SC2.9	6.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.072
SC3.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	0.333	0.167	0.143	0.125	0.111	0.032
SC3.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.143	0.037
SC3.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.200	0.044
SC3.4	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.250	0.058
SC3.5	5.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.333	0.083
SC3.6	7.000	5.000	5.000	5.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.500	0.119
SC3.7	9.000	7.000	7.000	7.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	9.000	7.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.199

RC = 6.420%

Quadro H.17 – Sub-matriz M_{21} , pertencente à super-matriz M.

	Objetivo
C1	0.260
C2	0.134
C3	0.503
C4	0.068
C5	0.035

Quadro H.18 – Sub-matriz M_{32} , pertencente à super-matriz M.

	C1	C2	C3	C4	C5
SC1.1	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000
SC1.2	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
SC1.3	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000
SC1.4	0.073	0.000	0.000	0.000	0.000
SC1.5	0.108	0.000	0.000	0.000	0.000
SC1.6	0.157	0.000	0.000	0.000	0.000
SC1.7	0.227	0.000	0.000	0.000	0.000
SC1.8	0.327	0.000	0.000	0.000	0.000
SC2.1	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000
SC2.2	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000
SC2.3	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000
SC2.4	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000
SC2.5	0.000	0.088	0.000	0.000	0.000
SC2.6	0.000	0.192	0.000	0.000	0.000
SC2.7	0.000	0.192	0.000	0.000	0.000
SC2.8	0.000	0.192	0.000	0.000	0.000
SC2.9	0.000	0.192	0.000	0.000	0.000
SC3.1	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000
SC3.2	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000
SC3.3	0.000	0.000	0.066	0.000	0.000
SC3.4	0.000	0.000	0.109	0.000	0.000
SC3.5	0.000	0.000	0.161	0.000	0.000
SC3.6	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000
SC3.7	0.000	0.000	0.358	0.000	0.000
SC4.1	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000
SC4.2	0.000	0.000	0.000	0.055	0.000
SC4.3	0.000	0.000	0.000	0.090	0.000
SC4.4	0.000	0.000	0.000	0.154	0.000
SC4.5	0.000	0.000	0.000	0.254	0.000
SC4.6	0.000	0.000	0.000	0.413	0.000
SC5.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035
SC5.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.068
SC5.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.134
SC5.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.260
SC5.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.503

