

DM

**Metodologias de Determinação
de Alturas de Onda para Dimensionamento
de Obras Marítimas**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Roberto da Silva Gonçalves
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

junho | 2016

Metodologias de Determinação de Alturas de Onda para Dimensionamento de Obras Marítimas

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Roberto da Silva Gonçalves

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTADOR
Sérgio António Neves Lousada



Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

Metodologias de Determinação de Alturas de Onda para Dimensionamento de Obras Marítimas

Licenciado em Engenharia Civil (Pós-Bolonha)

Dissertação submetida para o grau de Mestre em Engenharia Civil na Universidade
da Madeira

por

ROBERTO DA SILVA GONÇALVES

Orientador

Prof. Doutor Sérgio António Neves Lousada

(Universidade da Madeira)

junho de 2016

Título: Metodologias de Determinação de Alturas de Onda para Dimensionamento de Obras Marítimas

Palavras-Chave: Clima Marítimo; Portos da Madeira; Propagação de Onda; Altura de Onda Significativa.

Keywords: Maritime Climate; Madeira Port; Wave Propagation; Significant Wave Height.

Autor: ROBERTO GONÇALVES

FCEE - Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

Campus Universitário de Penteada

9020-015 Funchal - Portugal. s/n

Telefone +351 291 705 230

Correio eletrónico: secretariadocentros@uma.pt

Funchal, Madeira

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado representa o culminar de todos os meus anos de estudo e sacrifício. Com a participação de determinadas pessoas e entidades, esta tarefa tornou-se muito mais fácil, exequível. Agradeço, formalmente:

Ao Professor Doutor Sérgio António Neves Lousada, responsável pela orientação desta dissertação, não só pelo constante apoio e acompanhamento ao longo do trabalho, como pela transmissão de uma metodologia de trabalho, baseada na autonomia e na iniciativa, com a qual adquiri uma aprendizagem eficaz e coerente.

Aos meus pais e familiares, agradeço a estabilidade e o apoio que me proporcionaram, o qual permitiu, ser o que sou e ter o que tenho.

À Universidade da Madeira, pelo protocolo efetuado com a Universidade de Las Palmas, o qual permitiu alargar os meus conhecimentos na área da Engenharia Civil.

À Universidade de Las Palmas, por toda a compreensão e ajuda disponibilizada. Um especial agradecimento ao colega Josué Suárez Palacios, por todo o apoio e transmissão de conhecimento, o qual foi fundamental na realização deste projeto.

À Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira (APRAM), pela disponibilidade em colaborar. Um especial agradecimento à Diretora Alexandra Mendonça, à Engenheira Cecília Correia e ao Senhor Pedro Gouveia pela cedência dos registos das boias ondógrafo e pelas visitas às estruturas portuárias do Funchal e do Caniçal.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), nomeadamente à Engenheira Juana Fortes pela disponibilidade em ajudar sempre que solicitada.

Aos meus amigos e colegas da UMa pela vossa amizade, apoio e boa disposição demonstrada ao longo destes anos.

RESUMO

O clima marítimo ao longo da costa da Região Autónoma da Madeira (RAM) apresenta algumas diferenças, sendo para isso fundamental efetuar uma análise das características oceanográficas e geotécnicas do Arquipélago da Madeira. A referida análise tem como pressuposto retratar, o mais fiável possível, as diferenças, incidindo especialmente nos Portos do Funchal, Caniçal, Porto Moniz e Porto Santo.

A caracterização e simulação da propagação da agitação marítima, aplicada a estruturas portuárias da RAM, representam o cerne desta dissertação, sendo os seus objetivos primordiais: a definição da onda de projeto de uma obra marítima; a descrição da metodologia de determinação de estimativas de longo prazo; a análise comparativa; a definição de metodologias de cálculo e a aplicação a registos da costa da RAM.

Numa primeira fase procedeu-se à recolha de informação bibliográfica e de todos os registos informáticos disponibilizados pelas entidades responsáveis, nomeadamente a Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira (APRAM). Posteriormente efetuou-se um registo fotográfico das estruturas portuárias de modo a poder enquadrá-las geograficamente na região.

Com recurso aos dados fornecidos pela APRAM e a folhas de cálculo desenvolvidas no programa *Microsoft Excel* foi possível efetuar uma análise das alturas de onda significativa, do período de pico e da direção de ocorrência, por forma a poder caracterizar a agitação marítima que ocorre em cada um dos locais alvo deste estudo, sendo esta complementada pela análise das variáveis oceanográficas através do programa *Carol*.

O passo seguinte incidiu sobre a análise da propagação da agitação marítima em cada um dos locais analisados, com recurso ao programa *Mopla* e à caracterização supracitada, por forma a conseguir definir a altura de onda que ocorre na estrutura portuária em causa.

Como tarefa final são expostas as principais conclusões, algumas considerações finais e alguns objetivos que deveriam ser alcançados num futuro próximo.

Palavras-Chave:

Clima Marítimo, Porto da Madeira, Propagação de Onda, Altura de Onda Significativa.

ABSTRACT

The maritime climate along the coast of the Autonomous Region of Madeira (RAM) presents some differences, being essential to perform an analysis of oceanographic and geotechnical characteristics of the Madeira Archipelago. This analysis presupposes to portray the differences, the most reliable as possible, focusing mainly in Funchal, Caniçal, Porto Moniz and Porto Santo ports.

The characterization and simulation of the spread of sea waves, applied to port structures of RAM, are the heart of this dissertation, having as primary objectives: the definition of the project wave of a maritime work; the description of the methodology for determining long term estimates; the comparative analysis; the definition of calculus methodologies and the application of the RAM coast's records.

The first step is to collect bibliographic information and all the computer records provided by the responsible identities, namely the Administration of the Ports of the Autonomous Region of Madeira (APRAM). Subsequently made a photographic record of port facilities in order to adjust them geographically in the region.

Using the data provided by APRAM and spreadsheets developed in the Microsoft Excel software was possible to perform an analysis of significant wave heights, the peak period and the occurrence direction, so as to characterize the wave propagation which occurs in each target sites in this study, which is complemented by the analysis of oceanographic variables by Carol software.

The following step focused on the analysis of the spread of sea waves in each of the sites analyzed, resorting to Mopla software and the characterization mentioned above, in order to be able to set the wave height occurring at the port structure in question.

As a final assignment the key findings are described, as well as some considerations and some goals to be achieved in the near future.

Keywords:

Maritime Climate, Madeira Port, Wave Propagation, Significant Wave Height.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Introdução	2
1.2. Objetivos	4
1.3. Metodologia.....	4
1.4. Estrutura da dissertação.....	5
CAPÍTULO 2.....	7
METODOLOGIA DE CÁLCULO	7
2.1. Agitação Marítima.....	8
2.1.1. Onda.....	8
2.1.2. Empolamento.....	9
2.1.3. Refração	10
2.1.4. Difração	11
2.1.5. Reflexão.....	12
2.1.6. Rebentação.....	13
2.1.7. Espraçamento e refluxo	14
2.1.8. Correntes	14
2.1.8.1. Correntes Frias.....	15
2.1.8.2. Correntes Quentes	15
2.1.9. Marés.....	15
2.2. Métodos de Pré-Dimensionamento	18
2.2.1. Fórmula de Iribarren.....	20
2.2.2. Fórmula de Hudson.....	21
2.2.3. Van der Meer	22
2.2.4. Van der Meer e Jong (tetrápodes).....	25
2.2.5. Van der Meer (estruturas galgáveis)	26
2.2.6. Van der Meer (estruturas submersas)	27
2.3. Método de colocação	28
2.3.1. Introdução.....	28
2.3.2. Porosidade.....	28
2.3.3. Método de colocação irregular	30
2.3.4. Método de colocação regular	30

2.3.4.1. Método de colocação de parede inclinada.....	30
2.3.4.2. Método de colocação alternativo	31
CAPÍTULO 3	33
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	33
ENQUADRAMENTO NA REGIÃO	33
3.1. Enquadramento geral	34
3.2. Enquadramento e caracterização do caso de estudo	37
3.2.1. Portos em estudo.....	39
3.2.1.1. Porto do Funchal	39
3.2.1.2. Porto do Caniçal.....	45
3.2.1.3. Porto do Porto Moniz.....	50
3.2.1.4. Porto do Porto Santo.....	52
3.2.2. Boias Ondógrafo.....	54
CAPÍTULO 4	57
ORGANIZAÇÃO/TRATAMENTO DE DADOS.....	57
RESULTADOS	57
4.1. Organização e tratamento de dados.....	58
4.1.1. Clima Marítimo.....	58
4.1.1.1. Agitação Marítima.....	58
4.1.1.2. Regime Anual.....	59
4.1.1.3. Regime Estacional.....	62
4.1.2. Análise Probabilística.....	64
4.1.3. Carol	68
4.1.4. Mopla.....	73
4.1.4.1. Modelação.....	73
4.1.4.2. Análise	80
4.2. Resultados	82
CAPÍTULO 5	87
CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
5.1. Análise de resultados	88
5.2. Situações anómalas	90
5.3. Sugestões para trabalhos futuros.....	91
BIBLIOGRAFIA	93
ANEXOS	95
ANEXO I.....	97
PORTO DO FUNCHAL	97

AI.1. Clima MARITIMO	100
AI.1.1. Regime Anual	100
AI.1.2. Regime Estacional.....	102
AI.1.2.1. primavera	102
AI.1.2.2. verão	104
AI.1.2.3. outono	106
AI.1.3. Carol.....	109
AI.1.3.1. Descrição de dados.....	109
AI.1.3.2. Regime Médio	111
AI.1.3.3. Regime de Extremos.....	113
AI.1.4. Mopla.....	115
AI.1.4.1. Caso A1	115
AI.1.4.2. Caso A2	118
AI.1.4.3. Caso B1	121
AI.1.4.4. Caso B2	124
AI.1.4.5. Caso C2	127
ANEXO II	131
PORTO DO CANIÇAL	131
AI.2. Clima MARITIMO	132
AI.2.1. Regime Anual	132
AI.2.2. Regime Estacional.....	136
AI.2.2.1. primavera	136
AI.2.2.2. verão	138
AI.2.2.3. outono	140
AI.2.2.3. inverno	142
AI.2.3. Carol.....	145
AI.2.3.1. Descrição de dados.....	145
AI.2.3.2. Regime Médio	147
AI.2.3.3. Regime de Extremos.....	149
AI.2.4. Mopla.....	151
AI.2.4.1. Caso D1	152
AI.2.4.2. Caso D2	155
AI.2.4.3. Caso E1	158
AI.2.4.4. Caso E2	161
AI.2.4.5. Caso F1	164
AI.2.4.5. Caso F2	167
ANEXO III	171

PORTO DO PORTO MONIZ	171
AI.3. Clima MARITIMO	172
AI.3.1. Regime Anual	172
AI.3.3. Carol	177
AI.3.3.1. Descrição de dados	177
AI.3.3.2. Regime Médio	179
AI.3.3.3. Regime de Extremos	181
AI.3.4. Mopla	182
AI.3.4.1. Caso G1	184
AI.3.4.2. Caso G2	187
AI.3.4.3. Caso H1	190
AI.3.4.4. Caso H2	193
AI.3.4.5. Caso I1	196
AI.3.4.5. Caso I2	199
AI.3.4.6. Caso J1	202
AI.3.4.6. Caso J2	205
ANEXO IV	209
PORTO DO PORTO SANTO	209
AI.4. Clima MARITIMO	210
AI.4.1. Regime Anual	210
AI.4.2. Regime Estacional	214
AI.4.2.1. primavera	214
AI.4.2.2. verão	216
AI.4.2.3. outono	218
AI.4.2.4. inverno	220
AI.4.3. Carol	223
AI.4.3.1. Descrição de dados	223
AI.4.3.2. Regime Médio	225
AI.4.3.3. Regime de Extremos	227

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Marina do Lugar de Baixo (Urbanidades da Madeira, 2016)	2
Figura 2 - Marina do Lugar de Baixo (PORTAL NETMADEIRA, 2016).....	3
Figura 3 - Complexo Balnear do Lido, 2010 (http://www.madeira-web.com , 2016)	3
Figura 4 - Complexo Balnear do Lido, após o temporal de 20 de fevereiro de 2010 (funchalnoticias.ne, 2016)	4
Figura 5 - Metodologia adotada	5
Figura 6 - Empolamento (Cazzoli, 2008).....	9
Figura 7 - Empolamento (Pereira, 2008)	10
Figura 8 - Refração (Cazzoli, 2008)	10
Figura 9 - Lei de Snell (refração) (Journal of Integrated Coastal Zone Management, 2016). ..	11
Figura 10 - Difração de ondas (Neves, 2013).....	12
Figura 11 - Reflexão (Araujo, 2016)	12
Figura 12 - Rebentação mergulhante (FEDERATION OF AMERICAN SCIENTISTS, 2016) ..	13
Figura 13 - Rebentação progressiva (FEDERATION OF AMERICAN SCIENTISTS, 2016) ..	13
Figura 14 - Rebentação oscilante (FEDERATION OF AMERICAN SCIENTISTS, 2016)	14
Figura 15 - Fenómenos de espraiamento e refluxo	14
Figura 16 - Correntes Frias e Quentes (Correntes marítimas, 2016).....	15
Figura 17 - Preia-mar (Marinha - Portugal, 2016).....	16
Figura 18 - Baixa-mar (Marinha - Portugal, 2016)	16
Figura 19 - Níveis da maré e planos de referência (Instituto Hidrográfico, 2016)	17
Figura 20 - Fator de Permeabilidade (Lima, 2011)	24
Figura 21 - Representação da altura de galgamento (Lima, 2011).....	26
Figura 22 - Representação da altura total da obra submersa (Lima, 2011).....	27
Figura 23 - Definições para o cálculo \emptyset (Frens, 2007)	29
Figura 24 - Método de colocação de parede inclinada (Frens, 2007).....	31
Figura 25 - Método de colocação alternativo, primeira e segunda fase (Frens, 2007).....	31
Figura 26 - Arquipélago da Madeira	34
Figura 27 - Níveis altimétricos da Ilha da Madeira (topographic-map.com, 2016)	35
Figura 28 - Níveis altimétricos da Ilha de Porto Santo (topographic-map.com, 2016)	35
Figura 29 - Ilhas Desertas.....	36
Figura 30 - Ilhas Selvagens	36
Figura 31 - Estruturas Acostáveis da Ilha da Madeira	37
Figura 32 - Estrutura Acostável do Porto Santo	37
Figura 33 - Portos em estudo.....	39
Figura 34 - Porto do Funchal	40
Figura 35 - Cais 1 - Parte Interior.....	41
Figura 36 - Cais 1 - Parte Exterior.....	41
Figura 37 - Cais 2 - Parte Exterior.....	42
Figura 38 - Cais 3 - Parte Interior.....	42
Figura 39 - Cais 3 - Parte Exterior.....	43
Figura 40 - Cais 4	43
Figura 41 - Cais 5	44
Figura 42 - Cais 6	44
Figura 43 - Cais 7	45
Figura 44 - Cais 8	45
Figura 45 - Porto do Caniçal	46
Figura 46 - Cais Norte (N).....	47
Figura 47 - Rampa Ro-Ro.....	47
Figura 48 - Cais Sul (S).....	48
Figura 49 - Cais de Abrigo	48

Figura 50 - Boia de amarração	49
Figura 51 - Terminal de Combustíveis	49
Figura 52 - Estaleiro Naval.....	50
Figura 53 - Porto do Porto Moniz	50
Figura 54 - Porto do Porto Moniz - Parte Exterior	51
Figura 55 - Porto do Porto Moniz - Parte Interior.....	51
Figura 56 - Porto do Porto Santo	52
Figura 57 - Cais Principal do Porto Santo	53
Figura 58 - Cais de Proteção do Porto Santo.....	53
Figura 59 - Terminal de Cimentos do Porto Santo	54
Figura 60 - Boias Ondógrafo da RAM.....	55
Figura 61 - Rosa dos Ventos	59
Figura 62 - Frequência da altura de onda significativa anual do Funchal	60
Figura 63 - Frequência do período de pico anual do Funchal	60
Figura 64 - Frequência direcional anual do Funchal	61
Figura 65 - Direção da altura de onda significativa anual do Funchal	61
Figura 66 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Funchal (inverno).....	62
Figura 67 - Frequência do período de pico estacional do Funchal (inverno)	63
Figura 68 - Frequência direcional estacional do Funchal (inverno)	63
Figura 69 - Direção da altura de onda significativa estacional do Funchal (inverno)	64
Figura 70 - Metodologia para análise probabilística	64
Figura 71 - Estrutura de cada módulo.....	69
Figura 72 - Batimetria do Funchal.....	74
Figura 73 - Passo 1 e 2 - DATAEXTRACTION	74
Figura 74 - Passo 3 e 4 - DATAEXTRACTION	75
Figura 75 - Passo 5 e 6 - DATAEXTRACTION	75
Figura 76 - Mopla - Batimetria do Funchal	76
Figura 77 - Mopla - Caracterização da malha	77
Figura 78 - Mopla - Fixar o Norte (N) (Funchal)	77
Figura 79 - Mopla - Chave de identificação.....	78
Figura 80 - Mopla - Geometria da malha.....	78
Figura 81 - Malha do Porto do Funchal.....	79
Figura 82 - Mopla - Casos	79
Figura 83 - Mopla - Características da onda	80
Figura 84 - Altura de onda, caso M0 - C1	84
Figura 85 - Propagação da altura de onda, caso M0 - C1	85
Figura 86 - Direção da onda, caso M0 - C1	86
Figura 87 - Registo anual das alturas significativas e das alturas máximas do Funchal.....	101
Figura 88 - Registo anual do período médio e do período máximo do Funchal.....	101
Figura 89 - Registo anual das direções de onda do Funchal.....	102
Figura 90 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Funchal (primavera). 102	
Figura 91 - Frequência do período de pico estacional do Funchal (primavera)	103
Figura 92 - Frequência direcional estacional do Funchal (primavera)	103
Figura 93 - Direção da altura de onda significativa estacional do Funchal (primavera)	104
Figura 94 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Funchal (verão).....	104
Figura 95 - Frequência do período de pico estacional do Funchal (verão)	105
Figura 96 - Frequência direcional estacional do Funchal (verão)	105
Figura 97 - Direção da altura de onda significativa estacional do Funchal (verão)	106
Figura 98 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Funchal (outono).....	106
Figura 99 - Frequência do período de pico estacional do Funchal (outono)	107
Figura 100 - Frequência direcional estacional do Funchal (outono)	107
Figura 101 - Direção da altura de onda significativa estacional do Funchal (outono)	108
Figura 102 - Leis Probabilísticas	108

Figura 103 - Função de distribuição da altura significativa do Funchal.....	109
Figura 104 - Histograma das alturas significativas	109
Figura 105 - Rosa dos Ventos distribuição da altura significativa do Funchal	110
Figura 106 - Serie temporal da altura significativa do Funchal	110
Figura 107 - Distribuição Normal do Funchal (Carol)	111
Figura 108 - Distribuição Log-Normal do Funchal (Carol)	111
Figura 109 - Distribuição de Gumbel do Funchal (Carol).....	112
Figura 110 - Distribuição de Weibull do Funchal (Carol)	112
Figura 111 - GEV do Funchal (Carol).....	113
Figura 112 - Gumbel máximos anuais do Funchal (Carol)	113
Figura 113 - POT do Funchal (Carol)	114
Figura 114 - Altura de onda, caso M0 - A1.....	115
Figura 115 - Propagação da altura de onda, caso M0 - A1	116
Figura 116 - Direção da onda, caso M0 - A1.....	117
Figura 117 - Altura de onda, caso M0 - A2.....	118
Figura 118 - Propagação da altura de onda, caso M0 - A2	119
Figura 119 - Direção da onda, caso M0 - A2.....	120
Figura 120 - Altura de onda, caso M0 - B1.....	121
Figura 121 - Propagação da altura de onda, caso M0 - B1	122
Figura 122 - Direção da onda, caso M0 - B1.....	123
Figura 123 - Altura de onda, caso M0 - B2.....	124
Figura 124 - Propagação da altura de onda, caso M0 - B2	125
Figura 125 - Direção da onda, caso M0 - B2.....	126
Figura 126 - Altura de onda, caso M0 - C2.....	127
Figura 127 - Propagação da altura de onda, caso M0 - C2	128
Figura 128 - Direção da onda, caso M0 - C2.....	129
Figura 129 - Registo anual das alturas significativa e das alturas máximas do Caniçal	133
Figura 130 - Registo anual do período medio e do período máximo do Caniçal.....	133
Figura 131 - Registo anual das direções de onda do Caniçal	134
Figura 132 - Frequência da altura de onda significativa anual do Caniçal.....	134
Figura 133 - Frequência do período de pico anual do Caniçal	135
Figura 134 - Frequência direcional anual do Caniçal	135
Figura 135 - Direção da altura de onda significativa anual do Caniçal	136
Figura 136 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Caniçal (primavera).....	136
Figura 137 - Frequência do período de pico estacional do Caniçal (primavera)	137
Figura 138 - Frequência direcional estacional do Caniçal (primavera)	137
Figura 139 - Direção da altura de onda significativa estacional do Caniçal (primavera)	138
Figura 140 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Caniçal (verão)	138
Figura 141 - Frequência do período de pico estacional do Caniçal (verão)	139
Figura 142 - Frequência direcional estacional do Caniçal (verão)	139
Figura 143 - Direção da altura de onda significativa estacional do Caniçal (verão).....	140
Figura 144 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Caniçal (outono).....	140
Figura 145 - Frequência do período de pico estacional do Caniçal (outono)	141
Figura 146 - Frequência direcional estacional do Caniçal (outono)	141
Figura 147 - Direção da altura de onda significativa estacional do Caniçal (outono)	142
Figura 148 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Caniçal (inverno)....	142
Figura 149 - Frequência do período de pico estacional do Caniçal (inverno)	143
Figura 150 - Frequência direcional estacional do Caniçal (inverno)	143
Figura 151 - Direção da altura de onda significativa estacional do Caniçal (inverno)	144
Figura 152 - Leis Probabilísticas	144
Figura 153 - Função de distribuição da altura significativa do Caniçal	145
Figura 154 - Histograma das alturas significativas do Caniçal.....	145
Figura 155 - Rosa dos Ventos distribuição da altura significativa do Caniçal	146

Figura 156 - Serie temporal da altura significativa do Caniçal.....	146
Figura 157 - Distribuição Normal do Caniçal.....	147
Figura 158 - Distribuição Log-Normal do Caniçal.....	147
Figura 159 - Distribuição de Gumbel do Caniçal.....	148
Figura 160 - Distribuição de Weibull do Caniçal.....	148
Figura 161 - GEV do Caniçal.....	149
Figura 162 - Gumbel máximos anuais do Caniçal.....	149
Figura 163 - POT do Caniçal.....	150
Figura 164 - Batimetria do Caniçal.....	151
Figura 165 - Altura de onda, caso M1 - D1.....	152
Figura 166 - Propagação da altura de onda, caso M1 - D1.....	153
Figura 167 - Direção da onda, caso M1 - D1.....	154
Figura 168 - Altura de onda, caso M1 - D2.....	155
Figura 169 - Propagação da altura de onda, caso M1 - D2.....	156
Figura 170 - Direção da onda, caso M1 - D2.....	157
Figura 171 - Altura de onda, caso M1 - E1.....	158
Figura 172 - Propagação da altura de onda, caso M1 - E1.....	159
Figura 173 - Direção da onda, caso M1 - E1.....	160
Figura 174 - Altura de onda, caso M1 - E2.....	161
Figura 175 - Propagação da altura de onda, caso M1 - E2.....	162
Figura 176 - Direção da onda, caso M1 - E2.....	163
Figura 177 - Altura de onda, caso M1 - F1.....	164
Figura 178 - Propagação da altura de onda, caso M1 - F1.....	165
Figura 179 - Direção da onda, caso M1 - F1.....	166
Figura 180 - Altura de onda, caso M1 - F2.....	167
Figura 181 - Propagação da altura de onda, caso M1 - F2.....	168
Figura 182 - Direção da onda, caso M1 - F2.....	169
Figura 183 - Registo anual das alturas significativa e das alturas máximas do Porto Moniz.....	173
Figura 184 - Registo anual do período medio e do período máximo do Porto Moniz.....	173
Figura 185 - Registo anual das direções de onda do Porto Moniz.....	174
Figura 186 - Frequência da altura de onda significativa anual do Caniçal.....	174
Figura 187 - Frequência do período de pico anual do Porto Moniz.....	175
Figura 188 - Frequência direcional anual do Porto Moniz.....	175
Figura 189 - Direção da altura de onda significativa anual do Porto Moniz.....	176
Figura 190 - Leis Probabilísticas.....	176
Figura 191 - Função de distribuição da altura significativa do Porto Moniz.....	177
Figura 192 - Histograma das alturas significativas do Porto Moniz.....	177
Figura 193 - Rosa dos Ventos distribuição da altura significativa do Porto Moniz.....	178
Figura 194 - Serie temporal da altura significativa do Porto Moniz.....	178
Figura 195 - Distribuição Normal do Porto Moniz.....	179
Figura 196 - Distribuição Log-Normal do Porto Moniz.....	179
Figura 197 - Distribuição de Gumbel do Porto Moniz.....	180
Figura 198 - Distribuição de Weibull do Porto Moniz.....	180
Figura 199 - GEV do Porto Moniz.....	181
Figura 200 - Gumbel máximos anuais do Porto Moniz.....	181
Figura 201 - POT do Porto Moniz.....	182
Figura 202 - Batimetria do Porto Moniz.....	182
Figura 203 - Altura de onda, caso M2 - G1.....	184
Figura 204 - Propagação da altura de onda, caso M2 - G1.....	185
Figura 205 - Direção da onda, caso M2 - G1.....	186
Figura 206 - Altura de onda, caso M2 - G2.....	187
Figura 207 - Propagação da altura de onda, caso M2 - G2.....	188

Figura 208 - Direção da onda, caso M2 - G2	189
Figura 209 - Altura de onda, caso M2 - H1.....	190
Figura 210 - Propagação da altura de onda, caso M2 - H1	191
Figura 211 - Direção da onda, caso M2 - H1.....	192
Figura 212 - Altura de onda, caso M2 - H2.....	193
Figura 213 - Propagação da altura de onda, caso M2 - H2	194
Figura 214 - Direção da onda, caso M2 - H2.....	195
Figura 215 - Altura de onda, caso M2 - I1	196
Figura 216 - Propagação da altura de onda, caso M2 - I1.....	197
Figura 217 - Direção da onda, caso M2 - I1	198
Figura 218 - Altura de onda, caso M2 - I2	199
Figura 219 - Propagação da altura de onda, caso M2 - I2.....	200
Figura 220 - Direção da onda, caso M2 - I2	201
Figura 221 - Altura de onda, caso M2 - J1	202
Figura 222 - Propagação da altura de onda, caso M2 - J1	203
Figura 223 - Direção da onda, caso M2 - J1	204
Figura 224 - Altura de onda, caso M2 - J2	205
Figura 225 - Propagação da altura de onda, caso M2 - J2.....	206
Figura 226 - Direção da onda, caso M2 - J1	207
Figura 227 - Registo anual das alturas significativa e das alturas máximas do Porto Santo	211
Figura 228 - Registo anual do período medio e do período máximo do Porto Santo.....	211
Figura 229 - Registo anual das direções de onda do Porto Santo.....	212
Figura 230 - Frequência da altura de onda significativa anual do Porto Santo	212
Figura 231 - Frequência do período de pico anual do Porto Santo	213
Figura 232 - Frequência direcional anual do Porto Santo.....	213
Figura 233 - Direção da altura de onda significativa anual do Porto Santo	214
Figura 234 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (primavera)	214
Figura 235 - Frequência do período de pico estacional do Porto Santo (primavera)	215
Figura 236 - Frequência direcional estacional do Porto Santo (primavera)	215
Figura 237 - Direção da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (primavera)	216
Figura 238 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (verão).....	216
Figura 239 - Frequência do período de pico estacional do Porto Santo (verão)	217
Figura 240 - Frequência direcional estacional do Porto Santo (verão)	217
Figura 241 - Direção da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (verão)	218
Figura 242 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (outono)	218
Figura 243 - Frequência do período de pico estacional do Porto Santo (outono)	219
Figura 244 - Frequência direcional estacional do Porto Santo (outono)	219
Figura 245 - Direção da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (outono)	220
Figura 246 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (inverno)	220
Figura 247 - Frequência do período de pico estacional do Porto Santo (inverno)	221
Figura 248 - Frequência direcional estacional do Porto Santo (inverno)	221
Figura 249 - Direção da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (inverno)	222
Figura 250 - Leis Probabilísticas	222
Figura 251 - Função de distribuição da altura significativa do Porto Santo	223
Figura 252 - Histograma das alturas significativas do Porto Santo.....	223
Figura 253 - Rosa dos Ventos distribuição da altura significativa do Porto Santo	224
Figura 254 - Serie temporal da altura significativa do Porto Santo	224
Figura 255 - Distribuição Normal do Porto Santo	225

Figura 256 - Distribuição Log-Normal do Porto Santo.....	225
Figura 257 - Distribuição de Gumbel do Porto Santo.....	226
Figura 258 - Distribuição de Weibull do Porto Santo.....	226
Figura 259 - GEV do Porto Santo.....	227
Figura 260 - Gumbel máximos anuais do Porto Santo.....	227
Figura 261 - POT do Porto Santo.....	228

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fórmulas de dimensionamento do peso dos blocos a colocar no manto resistente (Lousada, 2014).....	19
Tabela 2 - Valores de K de acordo com o tipo de bloco (Lousada, 2014)	20
Tabela 3 - Valores de K' e μ para a fórmula de Iribarren (Lousada, 2014)	21
Tabela 4 - Coeficiente K_D da fórmula de Hudson (Lousada, 2014).....	22
Tabela 5 - Valores recomendáveis para o nível de dano (S), de mantos resistentes constituídos por duas camadas de enrocamento (Lima, 2011)	23
Tabela 6 - Valores para o nível de dano (N_{od}), considerando duas camadas de blocos de betão, para vários tipos de blocos (Lima, 2011).....	25
Tabela 7 - Densidade usadas por Gumba, Van der Meer e De Rouck (Frens, 2007)	30
Tabela 8 - Localização das Estruturas Acostáveis	38
Tabela 9 - Localização das Boias Ondógrafo.....	56
Tabela 10 - Excerto dos registos da Boia ondógrafo do Funchal	58
Tabela 11 - Alturas significativas máximas anuais do Funchal.....	65
Tabela 12 - Altura de onda estimada para o Funchal, para os respetivos Períodos de Retorno	68
Tabela 13 - Excerto da tabela das variáveis oceanográficas do Porto do Funchal	70
Tabela 14 - Funções de distribuição da altura de onda significativa do Porto do Funchal	73
Tabela 15 - Casos analisados para o Porto do Funchal	81
Tabela 16 - Casos analisados para o Porto do Caniçal.....	81
Tabela 17 - Casos analisados para o Porto do Porto Moniz.....	82
Tabela 18 - Resultados obtidos para o Porto do Funchal.....	83
Tabela 19 -Tabela de Mares 2016	98
Tabela 20 - Elementos de Mares 2016	99
Tabela 21 - Registos das alturas significativas e dos períodos de pico do Funchal.....	100
Tabela 22 - Registos das direções das alturas significativas do Funchal	100
Tabela 23 - Registos das alturas significativas e dos períodos de pico do Caniçal	132
Tabela 24 - Registos das direções das alturas significativas do Caniçal	132
Tabela 25 - Resultados obtidos para o Porto do Caniçal.....	151
Tabela 26 - Registos das alturas significativas e dos períodos de pico do Porto Moniz	172
Tabela 27 - Registos das direções das alturas significativas do Porto Moniz	172
Tabela 28 - Resultados obtidos para o Porto do Porto Moniz	183
Tabela 29 - Registos das alturas significativas e dos períodos de pico do Porto Santo	210
Tabela 30 - Registos das direções das alturas significativas do Porto Santo	210

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

$\bar{x}_{\log Hm0}$	Média do logaritmo da altura significativa
\hat{X}	Altura significativa anual máxima
$s'_{\log Hm0}$	Desvio padrão do logaritmo da altura significativa
\bar{x}	Média
Δ	Densidade relativa
μ	Coeficiente de atrito entre os blocos
μ^*	Média da distribuição normal inicial (parâmetro de localização)
μ_{GEV}	Parâmetro de localização do regime de extremos GEV
μ_n	Média da distribuição normal
μ_{RG}	Parâmetro de localização do regime de extremos de Gumbel máximos
C_1	Velocidade de onda em 1
C_2	Velocidade de onda em 2
C_a	Coeficiente de assimetria
C_v	Coeficiente de variação
d	Profundidade local
D_n	Valor do diâmetro nominal do bloco
D_{n50}	Comprimento da aresta de um cubo de volume equivalente ao bloco
f_i	Fator de redução
H	Altura da onda incidente
h'_c	Altura total da obra submersa
$H_{2\%}$	Altura de onda que apenas é excedida em 2% dos casos
H_{m0}	Altura significativa (m)
H_{max}	Altura máxima de zero ascendentes ocorridas no registo (m)
H_s	Altura de onda significativa de projeto
K	Coeficiente em função do tipo de bloco
K_D	Coeficiente de estabilidade
K_i	Fator de probabilidade dependente da lei
K_N	Fator de probabilidade da Lei Normal
L_0	Comprimento de onda em grandes profundidades
m_0	Momento espectral de ordem zero
m_2	Momento espectral de ordem dois
N_{od}	Nível de dano associado à estrutura
N_S	Número de estabilidade
N_S^*	Número de estabilidade espectral
N_z	Número de ondas
\emptyset	Ângulo de atrito dos blocos
P	Fator de permeabilidade
R_c	Altura de galgamento
S	Área erodida relativa ou nível de dano
s'	Desvio padrão
S_m	Declive da onda
S_{op}	Declividade correspondente ao comprimento de onda ao largo, de pico
S_p	Declive de pico
S_{prtp}	Dispersão do período de pico ($^{\circ}$)
T_{02}	Período médio (s)
T_{hmax}	Período correspondente à H_{max} (s)

T_{htp}	Direção média de ocorrência do período de pico ($^{\circ}$)
T_{max}	Período máximo ocorrido no registo (s)
T_p	Período de pico (s)
T_z	Média dos períodos de zero ascendentes (s)
α	Ângulo do talude com a horizontal
β_w	Parâmetro de forma de Weibul
γ_r	Peso específico do material que constitui o bloco
γ_s	Peso volúmico do material
γ_w	Peso volúmico da água
δ_G	Parâmetro de escala (proporcional ao desvio padrão) de Gumbel
δ_w	Parâmetro de escala de Weibul
θ_1	Ângulos de incidência quando o raio de onda atinge a profundidade 1
θ_2	Ângulos de incidência quando o raio de onda atinge a profundidade 2
λ_G	Parâmetro de localização (modo de distribuição) de Gumbel
λ_w	Parâmetro de localização de Weibul (o menor valor possível da variável aleatória x)
ξ_{GEV}	Parâmetro de forma do regime de extremos GEV
ξ_m	Parâmetro da rebentação
ξ_{mc}	Parâmetro da rebentação crítico
ξ_{POT}	Parâmetro de forma do regime de extremos POT
ρ_s	Massa volúmica do material
ρ_w	Massa volúmica da água
σ^*	Desvio padrão da distribuição normal inicial (parâmetro de escala)
σ_n	Desvio padrão da distribuição normal
σ_{Po}	Parâmetro de escala do regime de extremos POT
Ψ_{GEV}	Parâmetro de escala do regime de extremos GEV
Ψ_{RG}	Parâmetro de escala do regime de extremos de Gumbel máximos

ABREVIATURAS

APRAM	Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira
E	Este
ENE	És-Nordeste
ESE	És-Sudeste
GEV	<i>Gumbel Extreme Value distribution (reliability)</i>
IH	Instituto Hidrográfico
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
min	Minutos
N	Norte
NE	Nordeste
NMM	Nível médio do mar
NNE	Nor-Nordeste
NNW	Nor-Noroeste
NW	Noroeste
PLEM	<i>Pipeline End Manifold</i>
POT	<i>Peak Over Threshold</i>
RAM	Região Autónoma da Madeira
s	Segundos
S	Sul
SE	Sudeste
SSE	Su-Sudeste
SSW	Su-Sudoeste
SW	Sudoeste
ULPGC	<i>Universidad de Las Palmas de Gran Canárias</i>
UMa	Universidade da Madeira
W	Oeste
WNW	Oés-Noroeste
WSW	Oés-Sudoeste
ZH	Zero Hidrográfico

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO

A caracterização do clima marítimo e a determinação da altura de onda são fatores de extrema importância, pois representam aspetos fundamentais na segurança e comodidade da população, não só a nível económico, como também turístico, pois estamos dependentes das condições marítimas para salvaguardar estes valores.

Os efeitos associados à altura de onda estão dependentes das características fisiográficas e climáticas da costa, bem como da ocupação das zonas costeiras.

Nos dias de hoje verificamos cada vez mais alterações da agitação marítima, com especial ênfase na costa da RAM. Segundo a análise de estudos de alterações climáticas, este fenómeno tem tendência a ocorrer com uma maior frequência e intensidade, trazendo maiores dificuldades e prejuízos à população.

Um dos casos em maior foco na Ilha da Madeira é o caso da Marina do Lugar de Baixo, localizada no Concelho da Ponta do Sol. Sendo uma infraestrutura portuária de relativa importância, foi inaugurada no decorrer do ano de 2004, ver Figura 1.



Figura 1 - Marina do Lugar de Baixo (Urbanidades da Madeira, 2016)

A Marina do Lugar de Baixo esteve operacional durante um curto período de tempo, devido às condições marítimas presentes no local, condições essas que provocaram a destruição parcial da muralha de proteção da marina e enormes danos nas infraestruturas, tendo sido

efetuadas várias tentativas para solucionar o problema, mas todas elas sem sucesso, tendo-se investido numa infraestrutura para estar, nos dias de hoje, abandonada e num estado ruinoso, como pode ser observado na Figura 2.



Figura 2 - Marina do Lugar de Baixo (PORTAL NETMADEIRA, 2016)

Uma outra situação que teve um forte impacto a nível turístico na Ilha da Madeira foi a destruição do complexo de piscinas do Lido, Figura 3, com o temporal de 20 de fevereiro de 2010, tendo destruído quase por completo todo o local, deixando uma imagem desoladora numa zona vital da atividade turística, ver Figura 4.



Figura 3 - Complexo Balnear do Lido, 2010 (<http://www.madeira-web.com>, 2016)

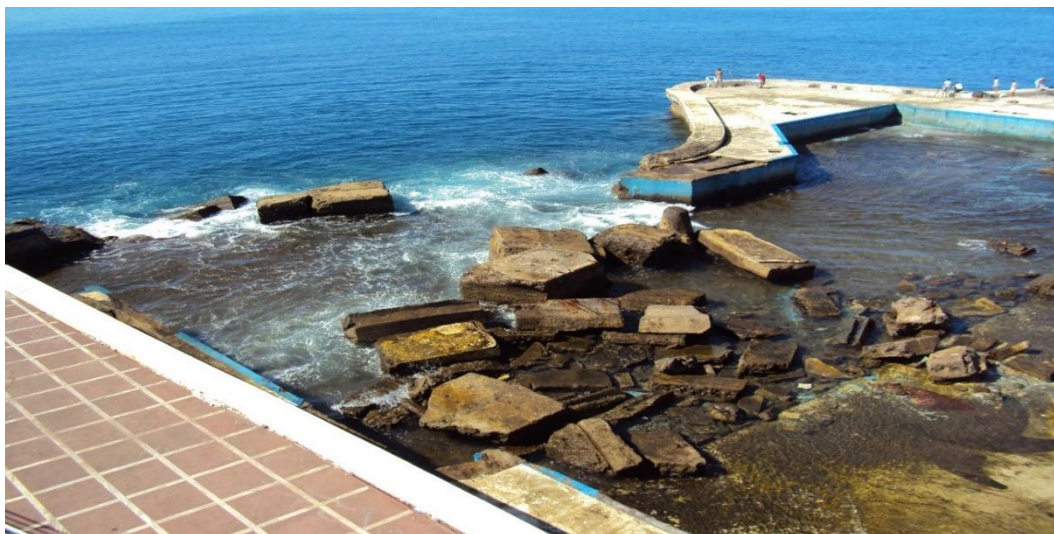


Figura 4 - Complexo Balnear do Lido, após o temporal de 20 de fevereiro de 2010 (funchalnoticias.ne, 2016)

A sua reabilitação foi de extrema importância e para tal foi fundamental efetuar uma intervenção ao nível das proteções marítimas e consolidação da plataforma da piscina para o bom funcionamento e longevidade da infraestrutura.

Devido a estes fatores, existe a necessidade de aprofundar os conhecimentos do clima marítimo por forma a poder garantir a funcionalidade das estruturas portuárias bem como a segurança da população.

1.2. OBJETIVOS

A caracterização e simulação da propagação da agitação marítima, aplicada a estruturas portuárias da RAM, representam o cerne desta dissertação, sendo os seus objetivos primordiais: a definição da onda de projeto de uma obra marítima; a descrição da metodologia de determinação de estimativas de longo prazo; a análise comparativa; a definição de metodologias de cálculo e a aplicação a registos da costa da RAM.

1.3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada caracteriza-se pelo estabelecimento de leis gerais que permitem o estudo de fenómenos recorrentes, especialmente naturais, logo baseou-se no teste de hipóteses.

A primeira fase consistiu na recolha de informação bibliográfica relativa à temática, através da qual se verificou que os principais parâmetros a analisar são: a altura de onda significativa, o período de pico e a direção de ocorrência. Estes parâmetros são específicos para a caracterização do clima marítimo, através do qual é possível determinar a altura de onda que permite fazer o dimensionamento das estruturas portuárias.

A análise/estudo da altura de onda significativa é efetuada com recurso a folhas de cálculo desenvolvidas no programa Microsoft Excel, onde são devidamente tratados os dados fornecidos pelas entidades responsáveis, neste caso a Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira (APRAM), por forma a obter a altura de onda para um período de retorno específico.

Através dos modelos digitais do terreno (batimetria) e com recurso ao programa *Mopla* é possível caracterizar a propagação das ondas ao longo da costa, bem como obter os dados relativos à altura de onda que ocorre na referida costa.

A presente dissertação de mestrado foi desenvolvida segundo o seguinte organigrama, ver Figura 5, tendo como ponto de partida uma pesquisa bibliográfica, sobre a temática, seguindo-se uma análise visual das estruturas portuárias e obtenção dos dados das zonas em estudo, os quais foram devidamente tratados e organizados. Posteriormente foram efetuadas observações e analisados os resultados obtidos, finalizando-se com uma exposição das conclusões obtidas ao longo do trabalho desenvolvido.

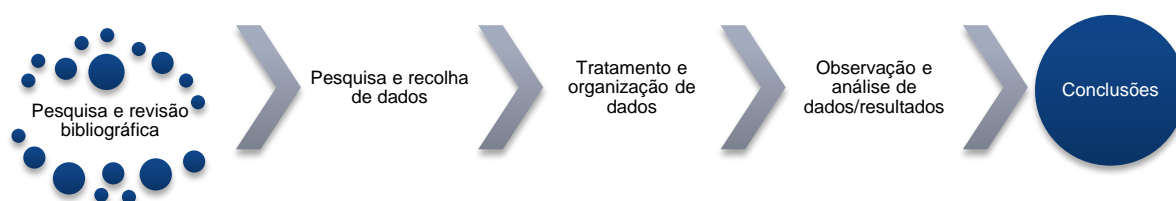


Figura 5 - Metodologia adotada

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado é constituída por 5 capítulos, cujo conteúdo é apresentado seguidamente de forma resumida.

No capítulo 1, justifica-se a realização da presente dissertação, onde são definidos os objetivos, a metodologia e a sua estrutura.

No capítulo 2 é apresentada uma base teórica, a qual é constituída por elementos essenciais à interpretação e análise de resultados.

No capítulo 3 é efetuada uma caracterização das áreas em estudo e o seu devido enquadramento na RAM.

No capítulo 4 é desenvolvida numa primeira fase uma caracterização do clima marítimo anual e estacional (primavera, verão, outono e inverno), prosseguindo-se com uma descrição e análise de modelos numéricos para caracterização e simulação da propagação da altura de onda, concluindo-se com uma avaliação e discussão dos resultados obtidos.

No capítulo 5 são expostas as principais conclusões obtidas no decorrer de todo este trabalho e apresentam-se diversas possibilidades de desenvolvimento do mesmo ao nível da investigação.

Nos anexos encontram-se as metodologias desenvolvidas ao longo da dissertação, referentes ao Porto do Funchal, Porto do Caniçal, Porto do Porto Moniz e Porto do Porto Santo, bem como outros documentos elaborados no decorrer da mesma.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA DE CÁLCULO

2.1. AGITAÇÃO MARÍTIMA

A agitação marítima caracteriza-se por ser uma ação física irregular. As alturas de ondas, a sua intensidade e direção devidamente registadas permitem caracterizar a agitação marítima. A batimetria da zona é fortemente influenciada por esta ação, devido à interação da agitação marítima com os fundos, sendo esta facilmente alterada num curto período de tempo, por fenómenos de acreção ou erosão, os quais são responsáveis pelas modificações ao longo de toda a costa marítima, através de um longo processo de atrito entre a água do mar e as rochas, essas rochas acabam por desgastar-se e transformar-se em pequenos grãos, sendo estes transportados pelas ondas. A batimetria é fundamental para o estudo das zonas costeiras, pois permite avaliar a zona de rebentação das ondas e, por conseguinte, determinar a localização da implantação das estruturas portuárias.

2.1.1. Onda

As ondas formam-se por oscilações de pressão na superfície do mar. As deformações variam consoante o estado do vento e dependem de três propriedades relativas ao anterior:

- Intensidade - quanto maior for a velocidade do vento, maior serão as ondas. Uma onda de 1.0 m necessita que o vento tenha uma velocidade superior a 10.0 m/s;
- Duração - para a formação da onda é necessário que ocorra vento durante algum tempo; por exemplo, para as condições de vento de 20.0 m/s é necessário dois dias para a formação de uma onda estável;
- Extensão - é necessário que suceda vento numa vasta área para que ocorra a formação de um espectro estável.

Propriedades da Onda

As principais propriedades que caracterizam as ondas são:

- Altura Significativa - H_s (m) - altura associada à média do terço mais elevado das alturas de onda de zero ascendentes.

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (\text{eq.1})$$

Onde:

m_0 - momento espectral de ordem zero;

- Período de Pico - T_p (s) - período associado ao maior nível de energia em um registo espectral;

- Período médio - T_{02} (s) - período médio das ondas registadas.

$$T_{02} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (\text{eq.2})$$

Onde:

m_2 - momento espectral de ordem dois;

- Direção média - THTP1 ($^\circ$) - direção média de ocorrência do período de pico.

2.1.2. Empolamento

O empolamento ocorre devido à redução da profundidade, o que leva ao aumento da altura de onda com o aproximar da mesma à costa. Com a diminuição da profundidade a velocidade da onda vai diminuindo progressivamente. Por forma a manter o fluxo de energia constante a altura de onda aumenta ao longo da diminuição da velocidade da onda, Figura 6 e Figura 7.

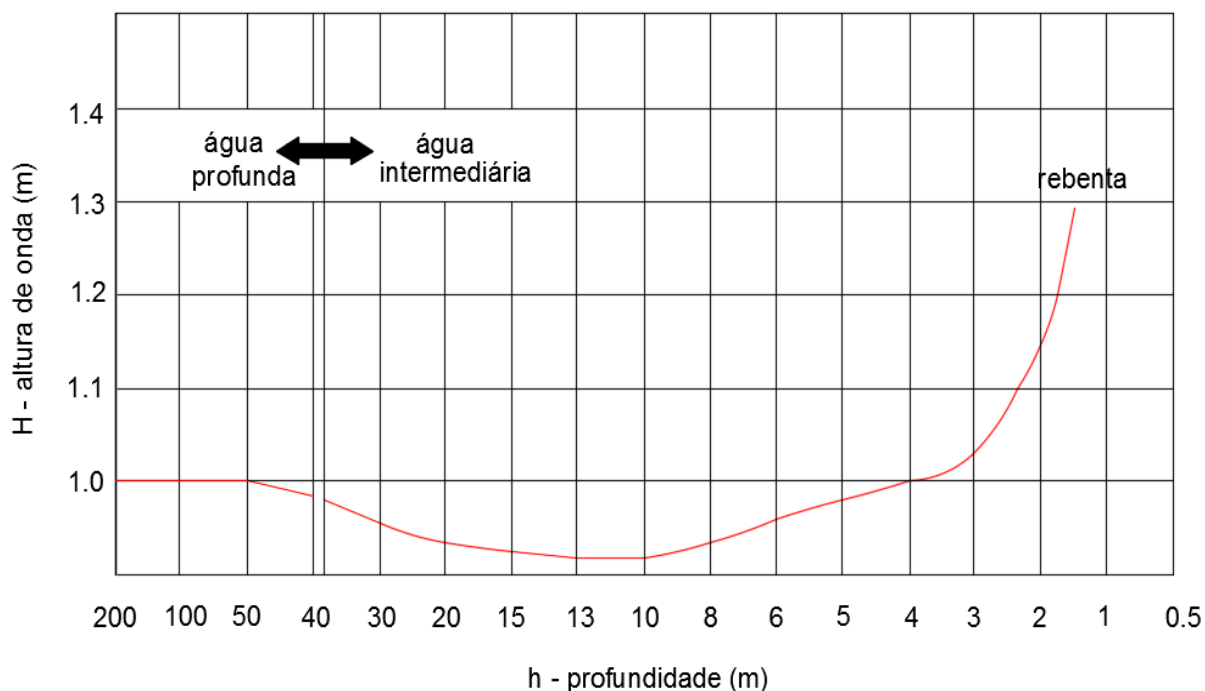


Figura 6 - Empolamento (Cazzoli, 2008)

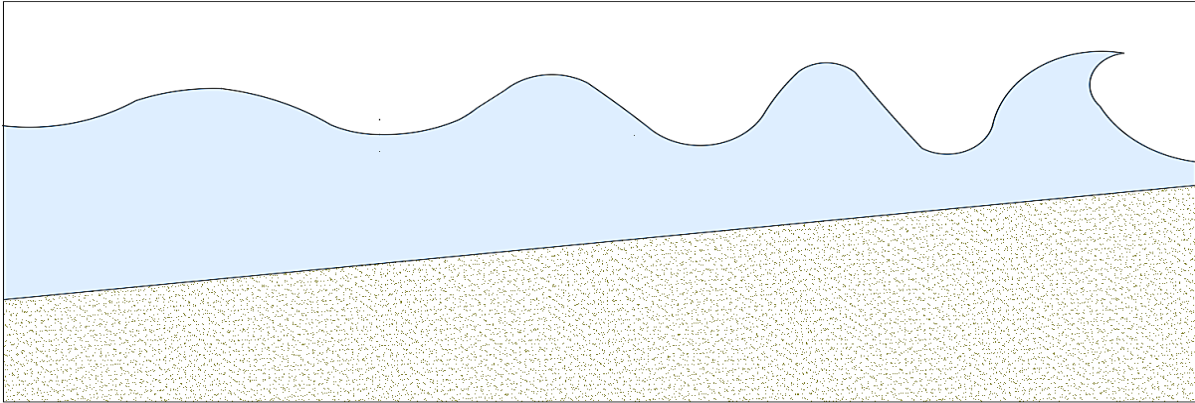


Figura 7 - Empolamento (Pereira, 2008)

2.1.3. Refração

A refração das ondas ocorre devido às variações na celeridade da propagação das mesmas, provocadas pelas variações da profundidade, isto é, a onda ao aproximar-se da costa, os pontos da crista que se deslocam a uma menor profundidade propagam-se lentamente em comparação aos pontos da crista que se deslocam em profundidades maiores, provocando assim uma mudança da forma da crista, tendo esta a tendência a encurvar por forma a adaptar-se à morfologia do fundo, (batimetria), Figura 8.

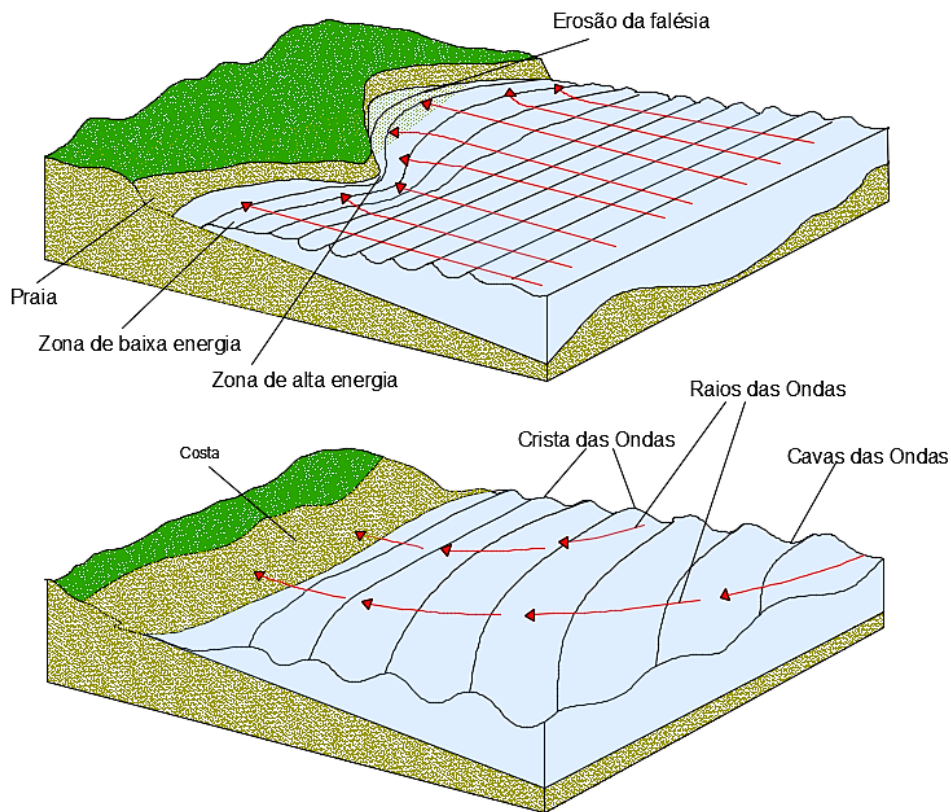


Figura 8 - Refração (Cazzoli, 2008)

A refração das ondas é regida pela Lei de Snell (Figura 9), onde a diminuição da celeridade da onda consoante a diminuição da profundidade é idêntica à diminuição da velocidade da luz ao transpor para um meio com um índice de refração maior.

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{c_1}{c_2} \quad (\text{eq.3})$$

Onde:

θ_1 e θ_2 - ângulos de incidência quando o raio de onda atinge a respetiva profundidade d_1 e d_2 ;
 c_1 e c_2 - velocidades da onda.

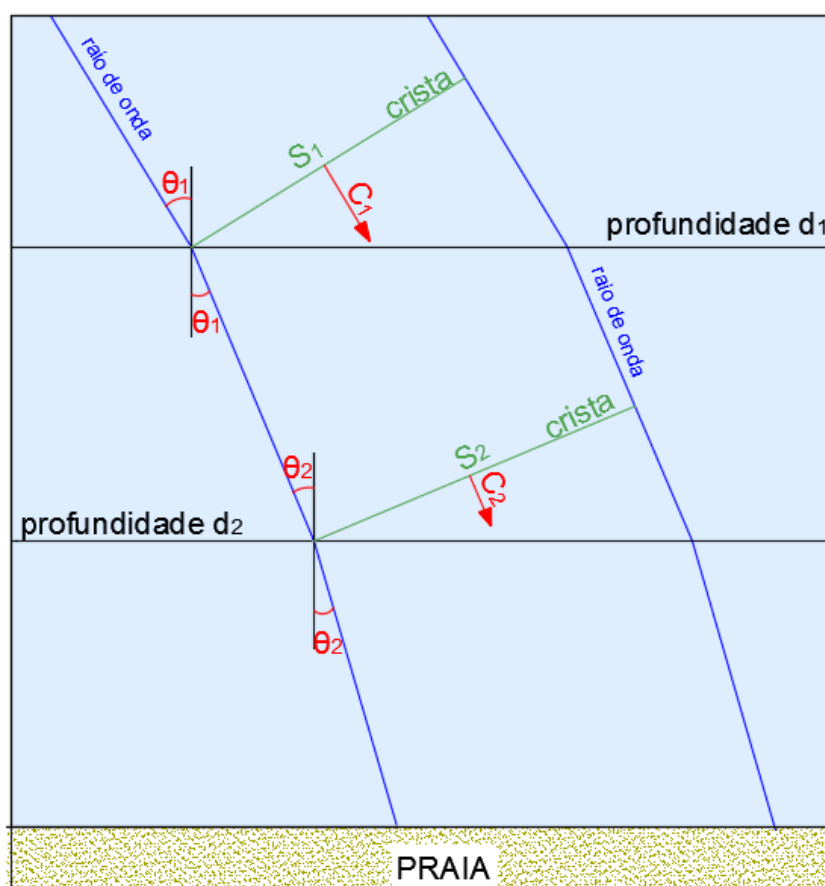


Figura 9 - Lei de Snell (refração) (Journal of Integrated Coastal Zone Management, 2016)

2.1.4. Difração

A difração da onda ocorre por variações das condições de propagação da onda, provocadas por obras de engenharia (estruturas portuárias) ou por ilhas. A difração resulta de uma distribuição não uniforme da energia de onda, a qual provoca alterações na direção da propagação. É um fenómeno no qual a energia é transmitida lateralmente ao longo da sua crista, na direção das zonas abrigadas com menores alturas de onda, Figura 10.

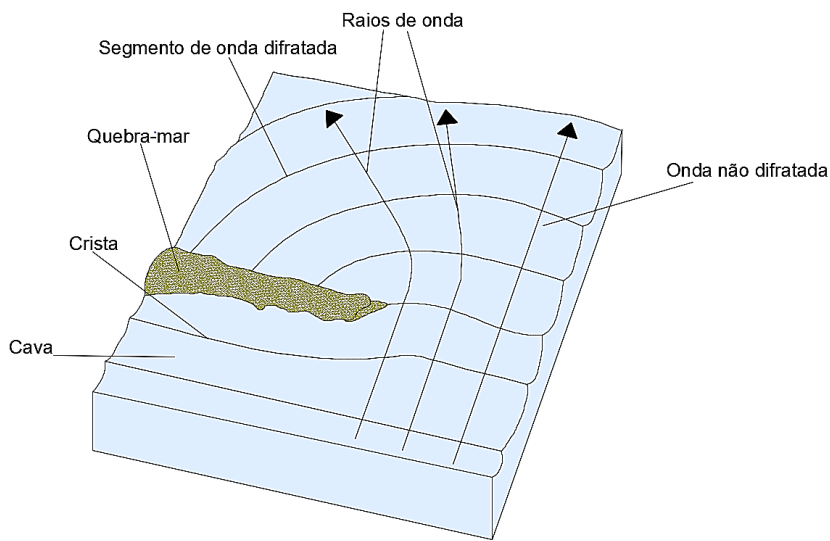


Figura 10 - Difração de ondas (Neves, 2013)

2.1.5. Reflexão

A reflexão consiste em inverter a direção da onda ao embater numa superfície rígida. Na propagação da onda nem toda a sua energia é dissipada, no final da propagação, ao embater sobre uma superfície, a energia presente é refletida, total ou parcialmente, na qual o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Uma onda ao incidir perpendicularmente no obstáculo origina ondas estacionárias (duas ondas semelhantes que se deslocam em sentidos opostos), a altura da onda estacionária refletida poderá atingir o dobro da altura de onda incidente.

Este fenômeno assume uma maior importância no interior de bacias portuárias fechadas, o qual poderá provocar problemas de estabilidade nos navios, Figura 11.

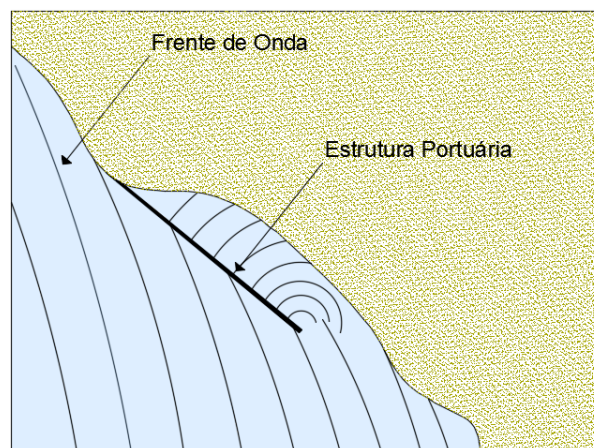


Figura 11 - Reflexão (Araujo, 2016)

2.1.6. Rebentação

A rebentação ocorre devido à instabilidade que a onda sofre quando entra numa zona de baixa profundidade, a altura da onda aumenta até atingir um declive limite, (H/L) . Quando o declive atinge a razão de $1/7$, a onda quebra parcialmente.

A rebentação das ondas é caracterizada por três tipos:

- Rebentação mergulhante - ocorre em litorais de declive moderado; a onda quebra de forma abrupta, sobre a linha de costa, Figura 12;

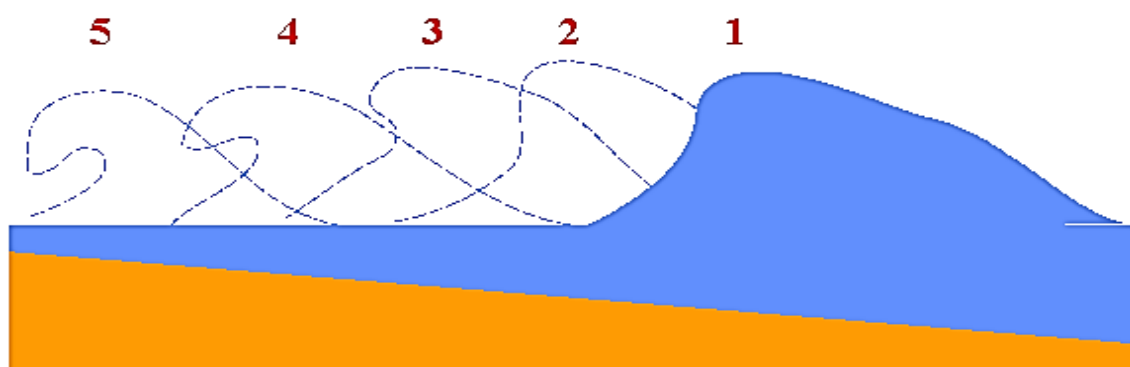


Figura 12 - Rebentação mergulhante (FEDERATION OF AMERICAN SCIENTISTS, 2016)

- Rebentação progressiva - ocorre em litorais de declive fraco; a onda quebra relativamente longe da costa, no qual a crista da onda enrola-se sobre a cava da onda, Figura 13.

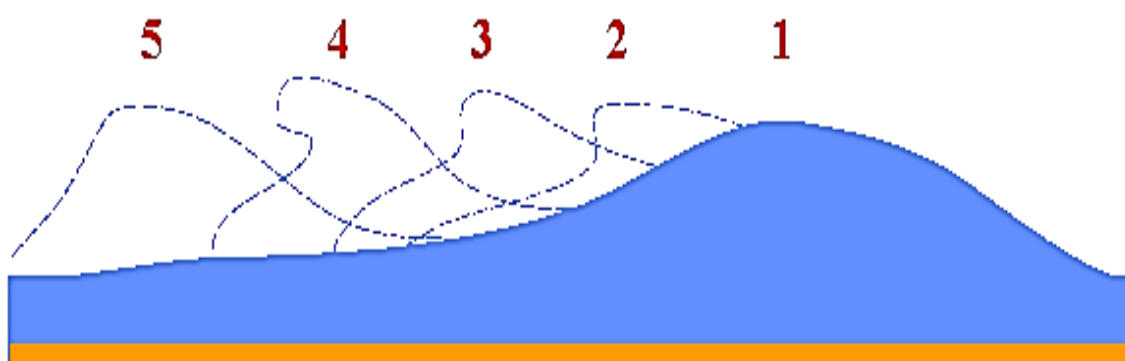


Figura 13 - Rebentação progressiva (FEDERATION OF AMERICAN SCIENTISTS, 2016)

- Rebentação oscilante - ocorre em litorais de declive acentuado; a onda não chega a quebrar, ascendendo o talude de um modo suave, Figura 14.

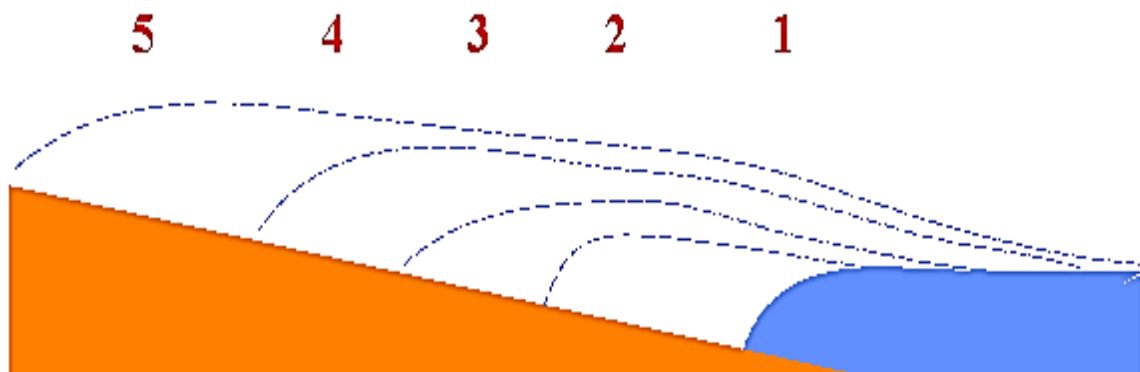


Figura 14 - Rebentação oscilante (FEDERATION OF AMERICAN SCIENTISTS, 2016)

2.1.7. Espraimento e refluxo

Designa-se por espraimento a cota máxima atingida por uma onda, medida na vertical tendo como referencia o nível de repouso.

O fenómeno de espraimento intercala com outro fenómeno chamado de refluxo, sendo a cota mais baixa atingida nesta interação. Dependendo do nível de repouso o refluxo máximo poderá ser negativo ou positivo, Figura 15.

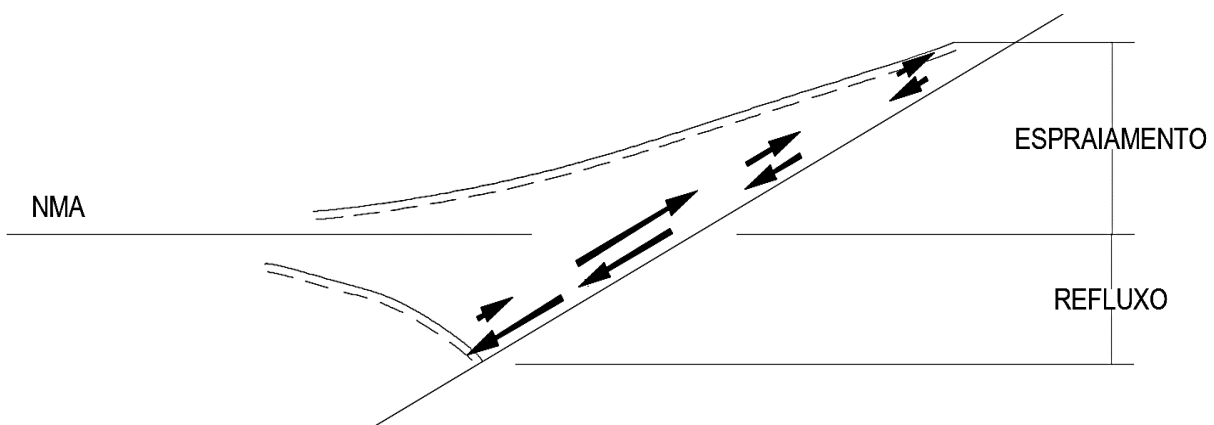


Figura 15 - Fenómenos de espraimento e refluxo

2.1.8. Correntes

As correntes marítimas são fluxos de água que se propagam ao longo dos oceanos com características idênticas, como a salinidade e a temperatura. Devido ao movimento de rotação da terra as correntes marítimas deslocam-se em sentidos diferentes nos dois hemisférios, deslocando-se no sentido anti-horário no Hemisfério Sul (S) e no sentido horário no Hemisfério Norte (N).

As correntes marítimas são influenciadas por frações de água, as quais são afetadas pelo relevo submarino, pelos movimentos dos ventos e massas de ar, pela rotação da Terra, por diferentes níveis de salinidade e pela densidade da água, provocada pelas diferentes temperaturas.

As temperaturas baixas originárias das regiões polares, afetam a densidade da água, surgindo correntes frias e profundas, as quais provocam o deslocamento das águas superficiais e quentes na direção das altas latitudes.

2.1.8.1. Correntes Frias

As correntes frias são originadas em faixas polares em elevadas latitudes, deslocando-se em direção à linha do equador. Estas por serem constituídas por substâncias frias (mais densas) deslocam-se mais lentamente e em maiores profundidades, Figura 16.

2.1.8.2. Correntes Quentes

As correntes quentes são originadas nas faixas equatoriais do planeta, no qual estão expostas a maiores temperaturas, dado este fato estas deslocam-se à superfície com uma maior velocidades das demais correntes, dirigindo-se para os polos, Figura 16.

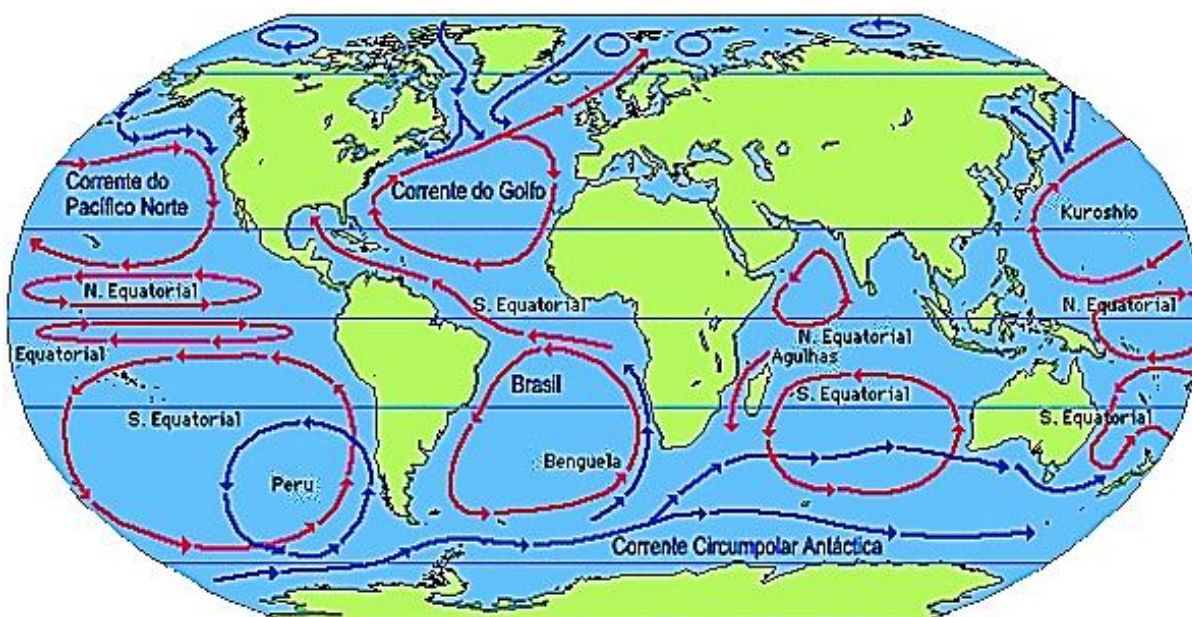


Figura 16 - Correntes Frias e Quentes (Correntes marítimas, 2016)

2.1.9. Marés

As marés consistem em mudanças periódicas do nível das águas dos oceanos, tendo como influência a atração gravitacional do Sol e da Lua. A Lua possui uma influência superior à do

Sol, embora tenha uma massa inferior, esta encontra-se a uma menor distância da Terra. A periodicidade das marés depende de fatores astronómicos, exclusivamente.

A preia-mar (maré cheia) ocorre quando a Lua passa pelo meridiano superior e inferior, isto é quando a lua passa por cima e por baixo de nós, Figura 17.

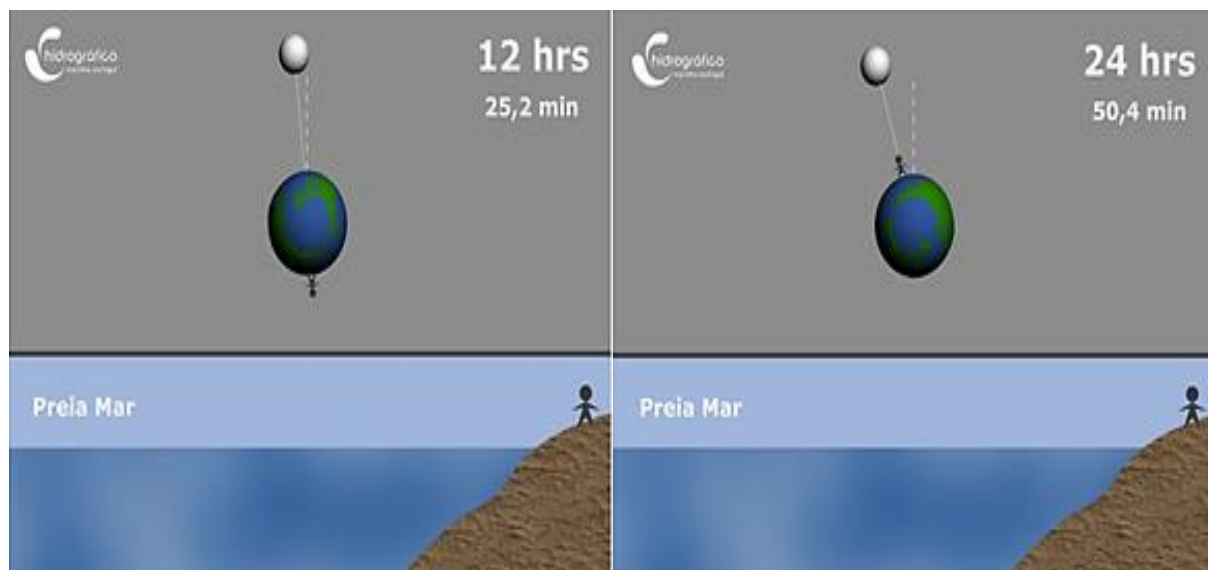


Figura 17 - Preia-mar (Marinha - Portugal, 2016)

A baixa-mar (maré baixa) surgem em intervalos de tempos intermédios dos níveis máximos, correspondendo a uma passagem de 90° do meridiano, Figura 18.

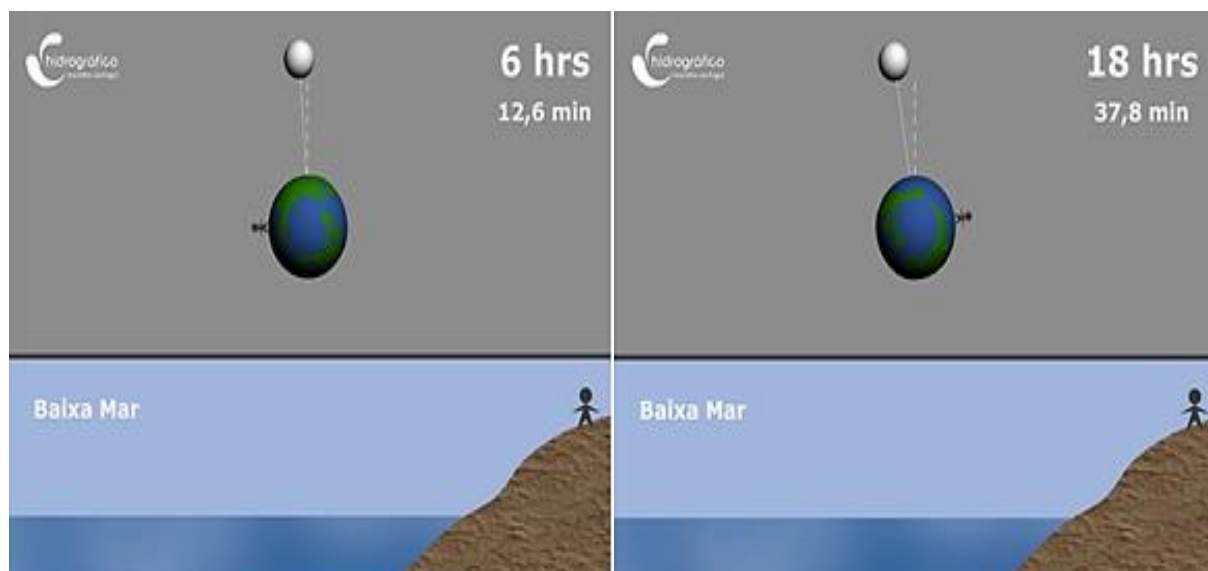


Figura 18 - Baixa-mar (Marinha - Portugal, 2016)

Níveis de referência

Na análise e previsão de marés é necessário considerar níveis de referência vertical, Figura 19, tais como:

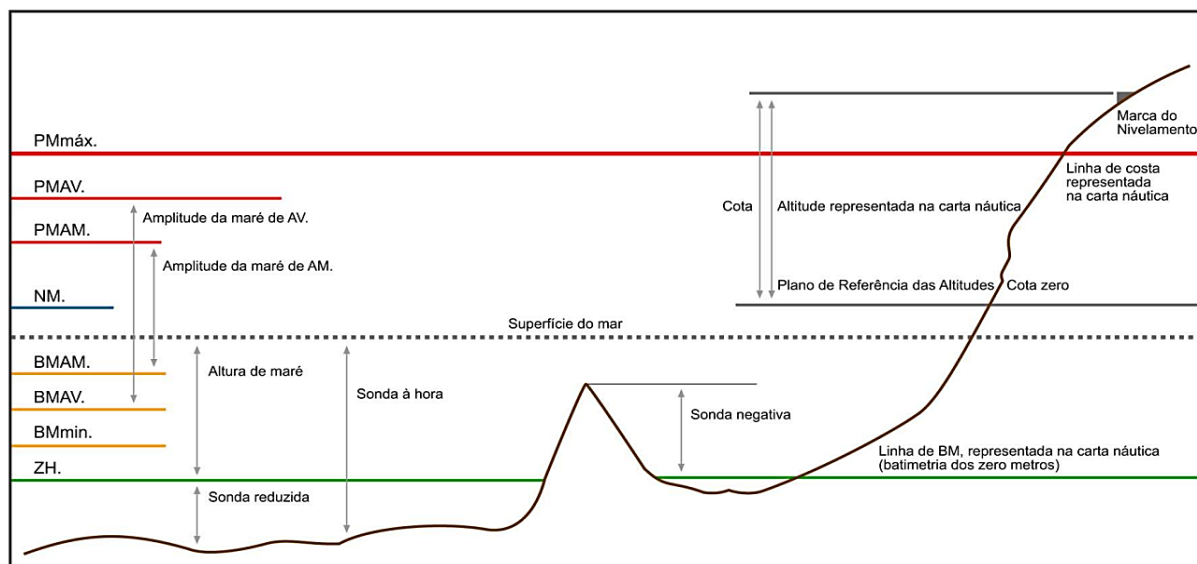


Figura 19 - Níveis da maré e planos de referência (Instituto Hidrográfico, 2016)

- **PMmáx.** - Níveis da maré astronómica mais alta. É a altura de água máxima que se prevê que possa ocorrer devido à maré astronómica, para o ano a que se refere a publicação;
- **PMAV.** - É o valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas preia-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é maior (próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia);
- **PMAM.** - É o valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas preia-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é menor (próximo das situações de Quarto Crescente ou Quarto Minguante);
- **NM.** - Nível médio. É o valor médio adotado para as alturas de água de um determinado porto, resultante de séries de observações maregráficas de duração variável, relativamente ao qual foram elaboradas as previsões;
- **BMAM.** - É o valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas baixa-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é menor (próximo das situações de Quarto Crescente ou Quarto Minguante);

- BMAV. - É o valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas baixas sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é maior (próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia);
- BMmin. - Níveis da maré astronómica mais baixa. É a altura de água mínima que se prevê que possa ocorrer devida à maré astronómica, para o ano a que se refere a publicação;
- ZH. - Zero Hidrográfico. É o plano de referência em relação ao qual são referidas as sondas e as linhas isobatimétricas nas cartas náuticas, bem como as previsões de altura de maré que figuram nas Tabelas de Marés do Instituto Hidrográfico. Nas cartas portuguesas, o ZH fica situado abaixo do nível da maré astronómica mais baixa, pelo que as previsões de altura de maré são sempre positivas. (Instituto Hidrográfico, 2016)

2.2. MÉTODOS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento de uma estrutura portuária inclui duas fases:

- O dimensionamento hidráulico, o qual define o local de implantação, a cota de coroamento e o comprimento da estrutura, de modo a obter a proteção desejada;
- O dimensionamento estrutural, por forma a definir a geometria da estrutura e o seu peso de modo a resistir às ações a que está sujeita.

No pré-dimensionamento da estrutura portuária, em especial no manto resistente, utilizam-se fórmulas empíricas e semi-empíricas dada a facilidade de utilização em fases de projeto, pois permitem determinar o peso dos blocos, por forma a resistir às ações solicitadas, caracterizadas pela altura de onda incidente e o nível de dano admissível.

Estas formulações foram desenvolvidas para estruturas de geometria simples e para condições específicas da agitação marítima, sendo uma grande desvantagem devido à complexidade da ação da agitação marítima sobre os blocos do manto resistente.

A primeira formulação para o pré-dimensionamento dos blocos do manto resistente surgiu em 1933 por Castro. Anos mais tarde Iribarren formulou as expressões de cálculo, o qual obteve uma grande aceitação a nível geral.

A partir de 1950 verificou-se uma grande evolução na hidráulica marítima, com as investigações efetuadas a detetarem as limitações das formulações desenvolvidas até a data, o que levou ao aparecimento de novas fórmulas.

A par da fórmula de Iribarren a fórmula de Hudson (1958), nos dias de hoje ainda é utilizada por uma grande parte dos projetistas. Van der Meer em 1988 surgiu com uma nova fórmula,

a qual se destacava das de mais pelo facto de contabilizar as ações irregulares da agitação marítima, considerando diferentes tipos de rebentação e profundidades.

De entre as várias fórmulas que surgiram, as que obtiveram uma maior aceitação foram as de Iribarren, de Hudson e a de Van der Meer, Tabela 1.

Tabela 1 - Fórmulas de dimensionamento do peso dos blocos a colocar no manto resistente (Lousada, 2014)

Autor	País	Ano	Fórmula
Castro	Espanha	1933	$W = \frac{0.704}{(\cot\alpha + 1)^2 \cdot \cot\alpha} \cdot \frac{2}{\gamma_r} \frac{H^3 \gamma_r}{(\gamma_w - 1)^3}$
Iribarren	Espanha	1938	$w = \frac{k}{(\cos\alpha - \sin\alpha)^3} \frac{H^3 \gamma_r}{(\gamma_w - 1)^3}$
Epstein e Tyrrel	E.U.A	1949	$w = \frac{0.704}{(\mu - \tan\alpha)^3} \frac{H^3 \gamma_r}{(\gamma_w - 1)^3}$
Larras	França	1953	$w = \frac{k \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot H}{L} \right)}{\left(\frac{sh \frac{4 \cdot \pi \cdot Z}{L}}{L} \right)} \frac{H^3 \gamma_r}{(\cos\alpha - \sin\alpha)^3 (\gamma_w - 1)^3}$
Iribarren	Espanha	1953	$w = \frac{k'}{\mu(\cos\alpha - \sin\alpha)^3} \frac{H^3 \gamma_r}{(\gamma_w - 1)^3}$
Hudson	E.U.A	1958	$w = \frac{1}{K_D \cdot \cot\alpha} \frac{H^3 \gamma_r}{(\gamma_w - 1)^3}$
Hedar	Suécia	1965	$w = \frac{k \cdot k_1^3}{(\mu \cdot \cos\alpha - \sin\alpha)^3} \frac{H^3 \gamma_r}{(\gamma_w - 1)^3}$
Metelicyna	U.R.S.S	1967	$w = \frac{K \cdot K_S}{\cos^3(23^\circ + \alpha)} \frac{H^3 \gamma_r}{(\gamma_w - 1)^3}$

2.2.1. Fórmula de Iribarren

A fórmula de Iribarren é expressa da seguinte forma:

$$W_r = \frac{KH^3 \frac{\gamma_r}{\gamma_w}}{(\cos \alpha - \text{sen} \alpha)^3 \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3} \quad (\text{eq. 4})$$

Onde:

- H - Altura da onda incidente;
- γ_r - Peso específico do material que constitui o bloco;
- γ_w - Peso específico da água;
- K - Coeficiente, função do tipo de bloco;
- α - Ângulo do talude com a horizontal.

O coeficiente K foi determinado por Iribarren com base na experiência dos quebra-mares de Orio (enrocamento de 3 toneladas e densidade 2.65, com taludes de 1.3:1, onde $K=0.00148 \text{ tf/m}^3$) e de Artha de Sam Juan de Luz (blocos de betão de 42 toneladas, de densidade 2.1, talude 5 (H):1 (V), onde $k=0.0187 \text{ tf/m}^3$), tendo proposto os seguintes valores expressos na Tabela 2. (Lousada, 2014)

Tabela 2 - Valores de K de acordo com o tipo de bloco (Lousada, 2014)

Tipo de Bloco	K (tf/m ³)
Blocos de enrocamento	0.015
Blocos de betão	0.019

Em 1953 Iribarren propôs uma generalidade da sua fórmula devido ao surgimento de novos blocos de betão, uma vez que verificou que os coeficientes de atrito unitário introduziam grandes erros no cálculo do peso dos blocos. Surgindo a fórmula:

$$W_r = \frac{k'H^3 \frac{\gamma_r}{\gamma_w}}{(\mu \cos \alpha - \text{sen} \alpha)^3 \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3} \quad (\text{eq.5})$$

Onde:

- μ - Coeficiente de atrito entre os blocos, obtidos através da equação 6, onde ϕ representa o ângulo de atrito dos blocos.

$$\mu = \tan(\emptyset) \quad (\text{eq.6})$$

Iribarren propôs os seguintes valores para K' e μ , Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de K' e μ para a fórmula de Iribarren (Lousada, 2014)

	K' (tf/m ³)	μ
Enrocamentos	0.430	2.38
Blocos paralelepípedicos	0.430	2.84
Tetrápodes	0.656	3.47

2.2.2. Fórmula de Hudson

A formulação de Hudson é utilizada para o cálculo do peso unitário dos blocos do manto resistente e considera uma abordagem simplista da agitação marítima. A formulação traduz-se nas seguintes expressões:

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cot \alpha)^{1/3} \quad \text{ou} \quad M_{50} = \frac{\rho_s H^3}{K_D \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)^3 \cot \alpha} \quad (\text{eq.7})$$

Onde:

H - Altura de onda incidente de projeto;

D_{n50} - Comprimento da aresta de um cubo de volume equivalente ao bloco;

ρ_s - Massa volúmica do material;

ρ_w - Massa volúmica da água;

Δ - Densidade relativa, ($\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$);

α - Inclinação do talude (graus);

K_D - Coeficiente de estabilidade.

M_{50} obtém-se pela seguinte expressão:

$$M_{50} = \rho_s D_{n50}^3 \quad (\text{eq.8})$$

Considerando W o peso unitário dos blocos constituintes do manto resistente (equação 9), γ_s e γ_w o peso volúmico do material e o peso volúmico da água, respetivamente, obtém-se a equação 10. (Lima, 2011)

$$w = M_{50} g \quad (\text{eq.9})$$

$$w = \frac{\gamma_s H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \quad (\text{eq.10})$$

O valor do coeficiente empírico de estabilidade K_D depende de vários parâmetros, como o material constituinte dos blocos, o tipo de superfície, localização do perfil, interligação dos blocos, inclinação do talude, número de camadas do manto resistente e a percentagem de blocos deslocados permitida, Tabela 4.

Tabela 4 - Coeficiente K_D da fórmula de Hudson (Lousada, 2014)

Tipo de Blocos	K_D
Tetrápodes	4.5 - 8.0
Cubos	5.0 - 7.5
Enrocamentos	1.6 - 4.0

A fórmula de Hudson, apesar de ser aplicada a diversos casos práticos, apresenta algumas limitações, pelo facto de não considerar alguns parâmetros hidrodinâmicos influentes na estabilidade da estrutura (período da onda, número de ondas, declive da onda, duração temporal, tipo de rebentação), só é válida para estruturas com núcleo permeável e estruturas onde não é admissível galgamento.

2.2.3. Van der Meer

A fórmula de Van der Meer surgiu com o objetivo de anular as principais falhas que surgiram na formulação de Hudson. Esta proposta de estabilidade é mais complexa, pois considera o carácter irregular da agitação marítima, as diferentes características de permeabilidade do núcleo e camadas inferiores, diferentes níveis de dano admissíveis para a estrutura, diferentes condições de rebentação da onda (oscilatória/mergulhante) e a duração do temporal.

No caso de estruturas não galgáveis, para mantos resistentes constituídos por duas camadas de enrocamentos e considerando ondas com rebentação oscilatória, admite duas expressões.

No caso de rebentação do tipo oscilatório ($\xi_m > \xi_{cr}$), isto é, quando a rebentação ocorre próximo da costa, em taludes de declive acentuado, a expressão é a seguinte:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 S^{0.2} P^{-0.13} N_Z^{-0.1} (\cot \alpha)^{0.5} \xi_m^P \quad (\text{eq.11})$$

No caso de rebentação do tipo mergulhante ($\xi_m < \xi_{cr}$):

$$N_S = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2S^{0.2}P^{0.18}N_z^{-0.1}\xi_m^{-0.5} \quad (\text{eq.12})$$

Onde:

N_S - Número de estabilidade;

H_s - Altura de onda significativa de projeto;

D_{n50} - Comprimento da aresta de um cubo de volume equivalente ao bloco;

S - Área erodida relativa ou nível de dano, Tabela 5;

P - Fator de Permeabilidade;

N_z - Número de ondas (dependente da duração do temporal e do período);

α - Ângulo do talude com a horizontal;

ξ_m - Parâmetro da rebentação (Número de Iribarren $(\tan \alpha / s_m^{1/2})$);

s_m - Declive da onda (H_s/L_0);

L_0 - Comprimento de onda em grandes profundidades (igual a $gT^2/2\pi$);

Δ - Densidade relativa.

Para Van der Meer, a classificação do tipo de rebentação (oscilatória ou mergulhante) depende do valor do número de Iribarren médio e crítico.

$$\xi_{mc} = (6.2P^{0.31}(\tan \alpha)^{0.5})^{1/(P+0.5)} \quad (\text{eq.13})$$

Tabela 5 - Valores recomendáveis para o nível de dano (S), de mantos resistentes constituídos por duas camadas de enrocamento (Lima, 2011)

Inclinação (cot α)	Área erodida Relativa - S		
	Dano inicial	Dano intermédio	Ruína
1.5	2	3 - 5	8
2.0	2	4 - 6	8
3.0	2	6 - 9	12
4.0	3	8 - 12	17
6.0	3	8 - 12	17

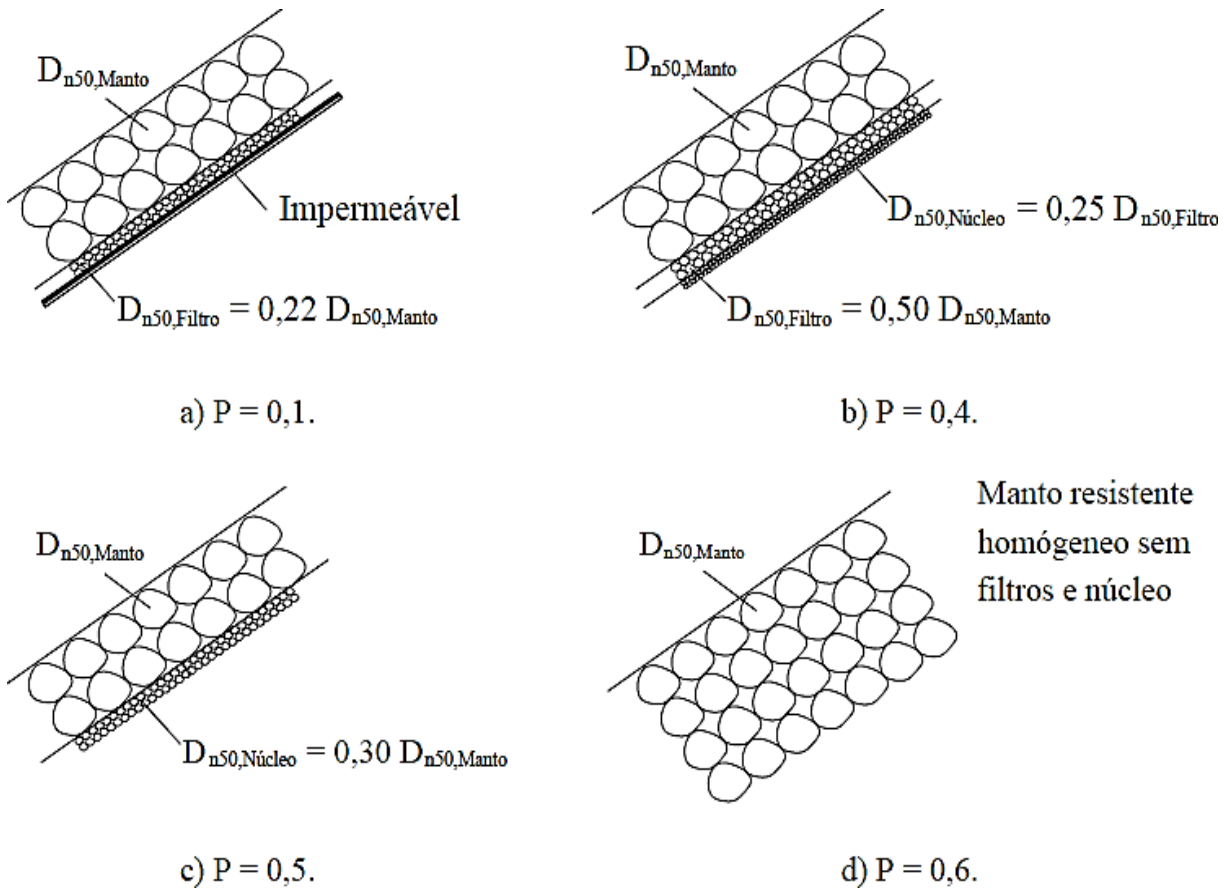


Figura 20 - Fator de Permeabilidade (Lima, 2011)

O fator de permeabilidade varia entre 0.1 para mantos resistentes com enrocamentos e sobre filtros impermeáveis e 0.6 em mantos resistentes homogêneos sem filtros e núcleo, (Figura 20). O fator de permeabilidade tem uma grande importância ao nível dos danos da estrutura e do peso unitário dos blocos necessários.

A formulação de Van der Meer apenas pode ser utilizada no caso de:

- $N_z \leq 7500$, valor a partir do qual o equilíbrio de dano é atingido (um maior número de ondas durante o temporal já não aumenta o nível de dano da estrutura);
- $0.1 \leq P \leq 0.6$;
- $0.005 \leq s_m \leq 0.06$;
- $20 \text{ KN/m}^3 \leq \gamma_s \leq 31 \text{ KN/m}^3$.

Quando a cot $\alpha \geq 4.0$, não há transição entre rebentação do tipo mergulhante e oscilatório, pelo que, apenas a equação 12 poderá ser considerada. Para grandes profundidades ($d > L_0/2$), sendo d a profundidade local, as equações 11 e 12 são válidas. Para pequenas profundidades relativas ($d/L_0 < 1/25$), poderão ser utilizadas as mesmas equações, devendo,

no entanto, considerar-se $H = H_{2\%}/1.4$, sendo $H_{2\%}$ a altura de onda que apenas é excedida em 2% dos casos. (Lima, 2011)

2.2.4. Van der Meer e Jong (tetrápodes)

A seguinte formulação de Van der Meer para mantos com duas camadas de tetrápodes só é válida para taludes com inclinação $H/V = 3/2$, permeabilidades de 0.4 e número de Iribarren médio ξ_m entre 3 e 6. A equação é válida para ondas com rebentação do tipo oscilatória, ou seja, quando $\xi_m > \xi_{mc}$.

$$\frac{H}{\Delta D_n} = \left(3.75 \left(\frac{N_{od}}{\sqrt{N_z}} \right)^{0.5} + 0.85 \right) s_m^{-0.2} \quad (\text{eq.14})$$

Onde:

D_n - Valor do diâmetro nominal do bloco;

N_{od} - Nível de dano associado à estrutura, Tabela 6.

Para ondas com rebentação mergulhante

$$\frac{H}{\Delta D_n} = \left(8.6 \left(\frac{N_{od}}{\sqrt{N_z}} \right)^{0.5} + 3.94 \right) s_m^{-0.2} \quad (\text{eq.15})$$

O peso unitário dos blocos do manto resistente W obtém-se a partir de D_{n50} .

Tabela 6 - Valores para o nível de dano (N_{od}), considerando duas camadas de blocos de betão, para vários tipos de blocos (Lima, 2011)

TIPO DE BLOCO	NÍVEL DE DANO - N_{od}		
	Dano inicial	Dano intermédio	Ruína
Cubo	0.2 - 0.5	1	2
Tetrápode	0.2 - 0.5	1	1 - 5
Acrópode	0	-	>0.5

2.2.5. Van der Meer (estruturas galgáveis)

Nas estruturas galgáveis o valor do diâmetro dos blocos a colocar no manto resistente ($D_{n50,Galgável}$) resulta do diâmetro obtido nas estruturas não galgáveis, afetado por um fator de redução f_i . O valor do peso unitário dos blocos obtém-se através das equações 8 e 9.

$$D_{n50,Galgável} = f_i * D_{n50,Não\ Galgável} \quad (eq.16)$$

$$f_i = \left(1.25 - 4.8 \frac{R_c}{H} \sqrt{\frac{S_{op}}{2\pi}} \right)^{-1} \quad (eq.17)$$

Onde:

S_{op} - Declividade correspondente ao comprimento de onda ao largo, de pico;

R_c - Altura de galgamento, representa o desnível entre o coroamento da estrutura e o nível da superfície da água, Figura 21.

A equação 17 só é válida se, se verificar a equação 18, onde se deduz que $0.8 < f_i < 1.0$.

$$0 < \frac{R_c}{H} \sqrt{\frac{S_{op}}{2\pi}} < 0.052 \quad (eq.18)$$

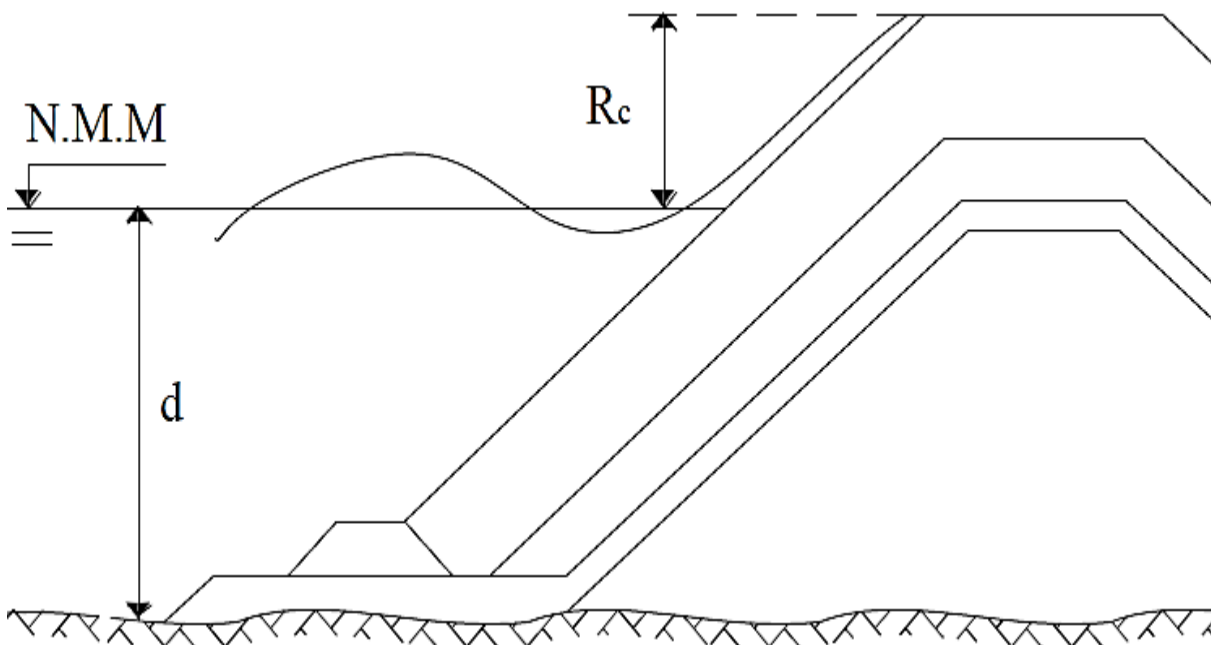


Figura 21 - Representação da altura de galgamento (Lima, 2011)

2.2.6. Van der Meer (estruturas submersas)

Para taludes com inclinação H/V = 2/1 e com carácter irregular da agitação, utiliza-se a seguinte equação para o cálculo do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente:

$$\frac{h'_c}{d} = (2.1 + 0.1S)e^{(-0.14N_S^*)} \quad (\text{eq.19})$$

$$N_S^* = \frac{H}{\Delta D_{n50}} S_p^{-1/3} \quad (\text{eq.20})$$

Onde:

h'_c - Altura total da obra submersa, Figura 22;

N_S^* - Número de estabilidade espectral;

S_p - Declive de pico, equação 21.

$$S_p = \frac{H}{L_p} \quad (\text{eq.21})$$

O declive de pico depende da altura de onda (H) e do comprimento de onda local (L_p), correspondente ao período de pico (T_p). O peso unitário dos blocos do manto resistente W obtém-se pelas equações 8 e 9.

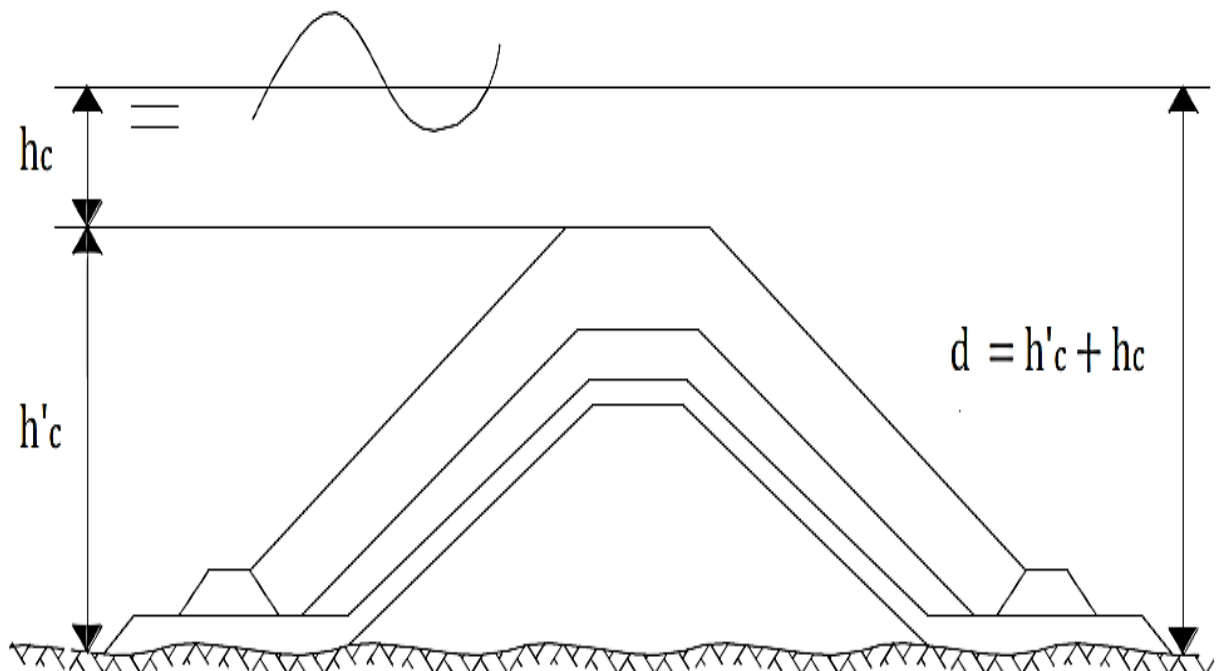


Figura 22 - Representação da altura total da obra submersa (Lima, 2011)

2.3. MÉTODO DE COLOCAÇÃO

2.3.1. Introdução

O método de colocação dos blocos é um parâmetro de grande importância, pois tem influência na estabilidade da estrutura.

Os coeficientes de estabilidade diferem consoante o método de colocação dos blocos. A sua determinação poderá ser efetuada pelo volume de blocos necessários, volume esse que determina a espessura da camada e, conseqüentemente, o número de blocos necessários por unidade de área, resultando na porosidade.

O método regular e o método irregular são os métodos utilizados na colocação dos blocos.

2.3.2. Porosidade

A porosidade representa a percentagem de espaços vazios nas camadas de proteção, percentagem essa que tem influência na estabilidade das camadas de proteção. Para o cálculo da porosidade é necessário definir a espessura das camadas, que decorre da fórmula de Hudson (equação 10).

Espessura da camada

$$t = n * K_{\Delta} * w^{1/3} \quad (\text{eq.22})$$

Onde:

n - Número de camadas;
 K_{Δ} - Coeficiente de espessura da camada;
 $W^{1/3} = D_n$ - Diâmetro nominal.

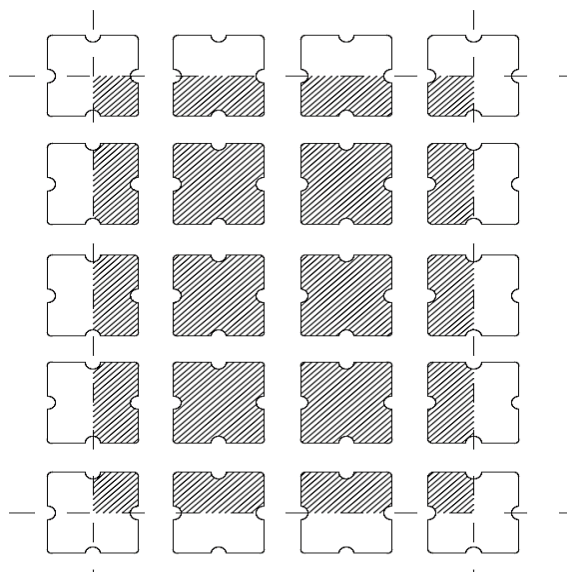
Espalhamentos dos blocos, número de blocos por unidade de área:

$$\emptyset = \frac{N}{B * L} \quad (\text{eq.23})$$

Onde:

N - Número de blocos na área delimitada;
 B - Largura da área;
 L - Comprimento (inclinação) da área.

A Figura 23 representa o número de blocos a considerar na área.

Figura 23 - Definições para o cálculo ϕ (Frens, 2007)

Porosidade P (%):

$$p = \left(1 - \frac{N * w}{B * L * t}\right) * 100 = \left(1 - \frac{w * \phi}{t}\right) * 100 \quad (\text{eq.24})$$

Existem algumas interpretações dentro desta teoria, tais como:

- Existem dois valores frequentemente usados para o coeficiente de espessura de camadas, que levam a camadas de diferentes espessuras e porosidades, conseqüentemente diferentes;
- Os coeficientes de espessura de 1.1 e o de 1.076 são utilizados em camadas duplas colocadas irregularmente, com uma porosidade de 46%.

Densidade de blocos sólidos:

$$d = \frac{N * w}{B * L * t} * 100 = (1 - P) \quad (\text{eq.25})$$

Número de blocos por unidade de área:

$$\phi_1 = \frac{N}{B * L} = \frac{t * \frac{d}{100}}{w} = \frac{n * k_{\Delta} * \frac{d}{100}}{w^{2/3}} \quad (\text{eq.26})$$

Número real máximo de blocos por unidade:

$$\phi_2 = \frac{N * D_n^2}{B * L} = \frac{t * \frac{d}{100}}{w^{1/3}} = n * k_{\Delta} * \frac{d}{100} \quad (\text{eq.27})$$

Tabela 7 - Densidade usadas por Gumba, Van der Meer e De Rouck (Frens, 2007)

Tipo de Unidade	Antifer	Cubo	Rocha	Tetrápode	Accropode	Core - loc	Dolos
Ø ₂ , Günbak	1.21	1.32	1.26	1.04	0.66	0.58	-
Ø ₂ , Van der Meer	-	1.17	-	1.04	0.61	0.56	-
Ø ₂ , de Rouck et al,	1.21	-	-	1.04	0.76	-	0.82

2.3.3. Método de colocação irregular

Em locais de grandes alterações climáticas e de instabilidade ao nível das fundações é frequentemente utilizado o método de colocação irregular. As principais vantagens deste método em comparação ao método de colocação regular é que devido à grande instabilidade a primeira camada de blocos facilmente se deforma, afetando em muito a estabilidade da segunda camada e no caso de ocorrerem alguns estragos no bloco facilmente é colocado um novo bloco.

A primeira camada deverá ser executada o mais irregular possível, de maneira a garantir a porosidade necessária. Os blocos na primeira camada não deverão ser colocados muito perto um dos outros, pois facilmente sofrem deslocamentos devido à instabilidade do local, tornando difícil garantir a porosidade pretendida na segunda camada.

2.3.4. Método de colocação regular

A colocação dos blocos deverá ser o mais regular possível de maneira a formar um padrão, para tal existem diversos métodos de implementação/colocação, de entre os quais se apresentam o da parede inclinada e alternativo.

2.3.4.1. Método de colocação de parede inclinada

Na colocação da primeira camada os blocos deverão ser colocados contíguos uns aos outros com os seus encaixes perpendiculares ao declive, sendo a segunda camada colocada diretamente sobre a primeira, através da mesma metodologia de aplicação, Figura 24.

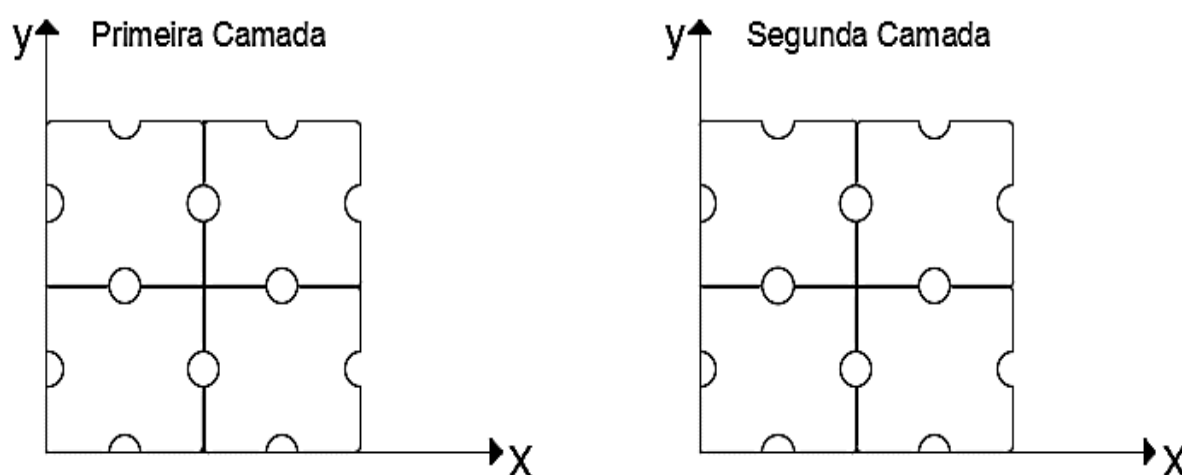


Figura 24 - Método de colocação de parede inclinada (Frens, 2007)

2.3.4.2. Método de colocação alternativo

Os blocos na primeira fase deveram ter um espaçamento de metade do seu comprimento, sendo aplicados perpendicularmente ao declive. Na segunda camada os blocos serão aplicados contiguamente uns aos outros com os seus encaixes perpendiculares ao declive, Figura 25.

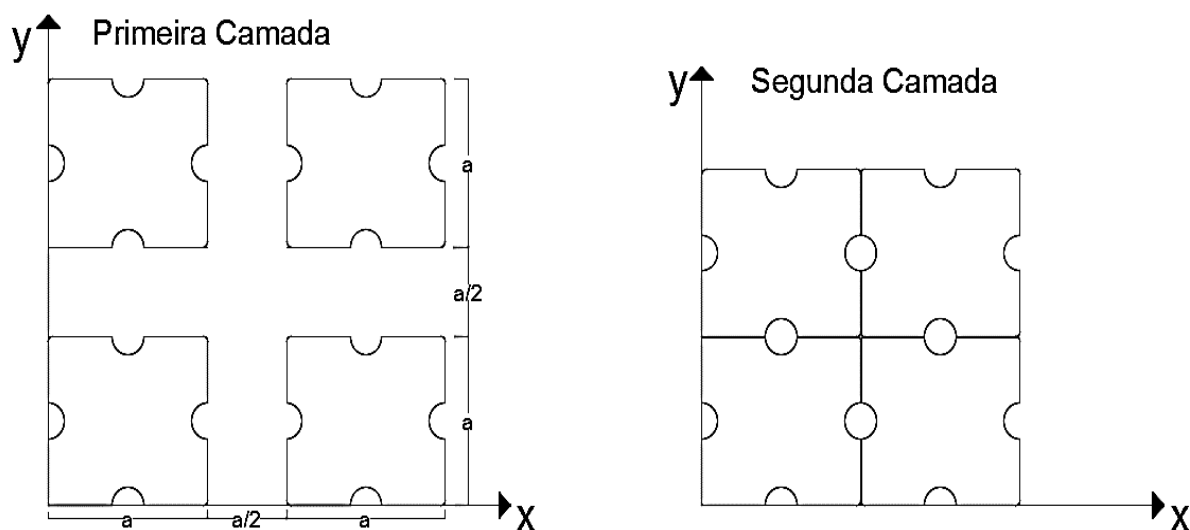


Figura 25 - Método de colocação alternativo, primeira e segunda fase (Frens, 2007)

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO ENQUADRAMENTO NA REGIÃO

3.1. ENQUADRAMENTO GERAL

O Arquipélago da Madeira situa-se no Oceano Atlântico, na placa africana, entre as latitudes de 30° 01' N e 33° 31' N e as longitudes de 15° 51' W e 17° 30' W do Meridiano de Greenwich, a 978 km a Sudoeste (SW) de Lisboa, a 450 km a Norte (N) das Ilhas Canárias e a 700 Km a Oeste (W) da Costa Africana, Figura 26.

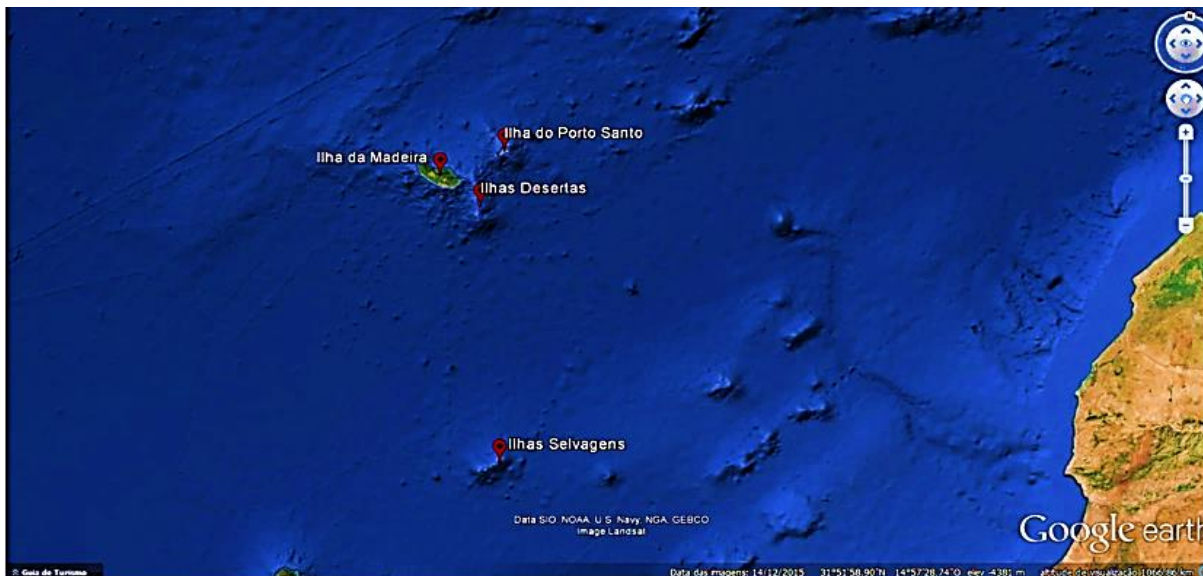


Figura 26 - Arquipélago da Madeira

O Arquipélago é constituído por dois grupos de Ilhas, o Grupo Norte situado em ambiente oceânico constituído pelas Ilhas da Madeira, Porto Santo e Desertas e o Grupo Sul (S) constituído pelas Ilhas Selvagens, situadas próximo do Arquipélago das Canárias e do Continente Africano. Tendo num total uma área de 796.80 km².

A Ilha da Madeira tem uma área de 736.00 km², apresentando uma forma alongada, com 58.0 km na direção Este (E) - Oeste e 23.0 km na direção Norte - Sul. A sua morfologia foi

fortemente influenciada pelas estruturas vulcânicas, pelas variações do nível do mar, pelo clima e pela exposição a agentes erosivos, esta combinação de fatores contribui em muito para uma orografia bastante acidentada, sendo o seu ponto mais alto o Pico Ruivo com 1862.0 m. A sua variação altimétrica encontra-se representada na Figura 27.



Figura 27 - Níveis altimétricos da Ilha da Madeira (topographic-map.com, 2016)

A Ilha do Porto Santo situada a Nordeste (NE) do Arquipélago, a 500.0 km da Costa Africana e a 1000.0 km do Continente Europeu, tem uma área de 42.26 Km², sendo a ilha mais pequena habitada do Arquipélago. Ao nível da sua morfologia apresenta um relevo bastante inferior em comparação ao da Ilha da Madeira, sendo o seu ponto mais alto o Pico do Facho com 517.0 m de altitude. A sua altimetria encontra-se representada na Figura 28.

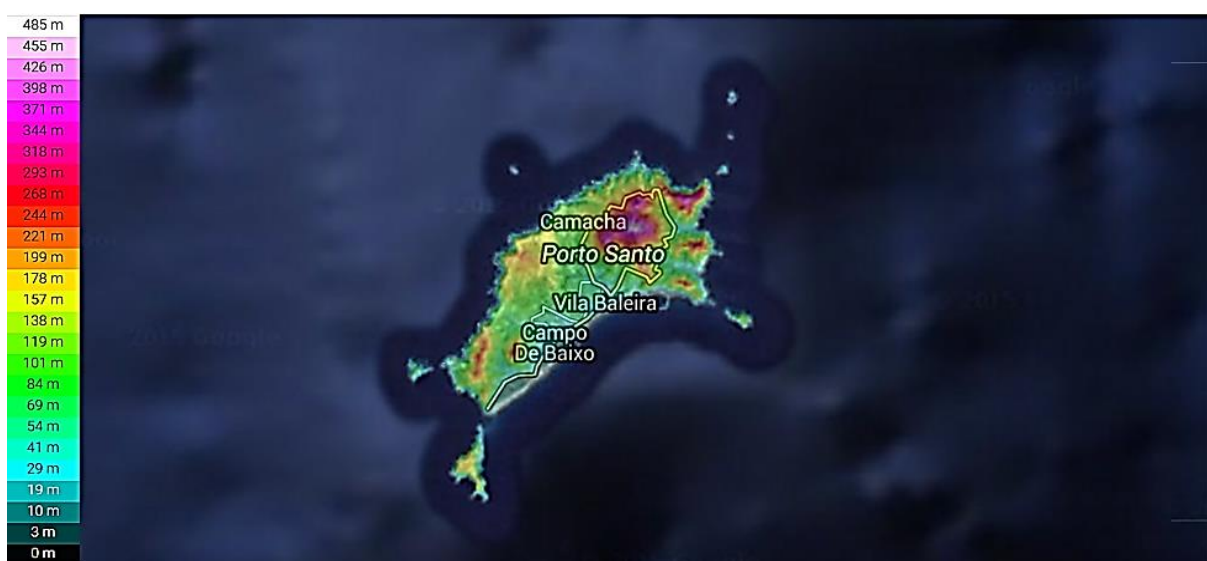


Figura 28 - Níveis altimétricos da Ilha de Porto Santo (topographic-map.com, 2016)

As Desertas situam-se a Sudeste (SE) da Ilha da Madeira, com uma área de 14.2 km², possuindo um faixa litoral com cerca de 37700.0 m. Sendo constituída por um grupo de três Ilhéus, O Ilhéu Chão, a Deserta Grande e o Bugio. A sua área marinha encontra-se dividida em Reserva Parcial a Norte e Reserva Integral a Sul, sendo nesta proibida a navegação, Figura 29.

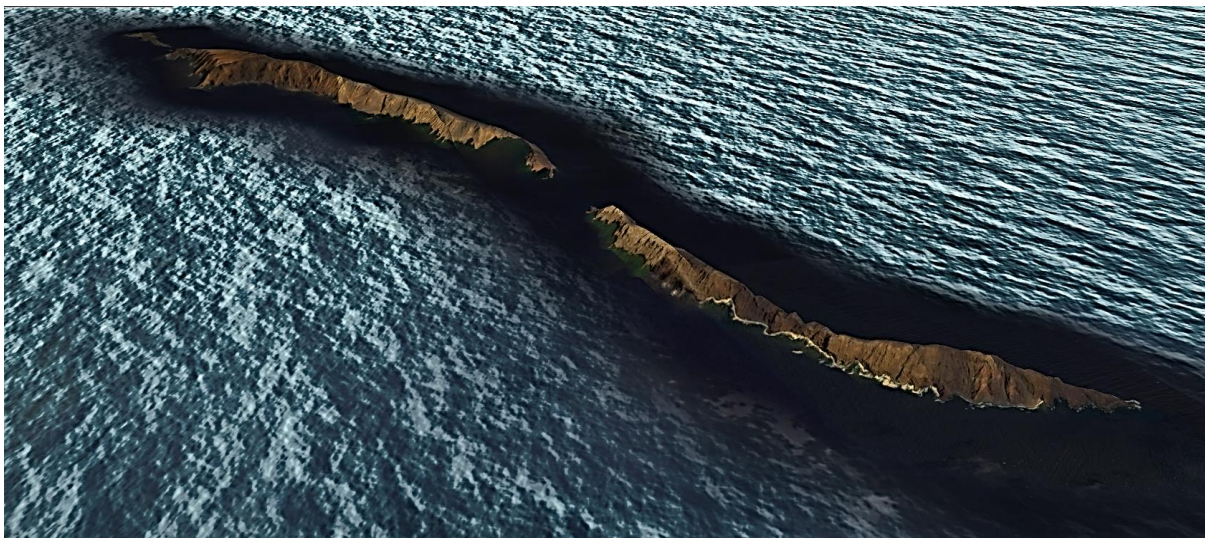


Figura 29 - Ilhas Desertas

As Selvagem com uma área de 3.60 km² situa-se a 250.0 km a Sul da Madeira, sendo uma Reserva Nacional. As Selvagem são constituídas por dois grupos, um grupo a Nordeste o qual inclui a Ilha Selvagem Grande e duas pequena ilhas, Palheiro da Terra e Palheiro do Mar, e um grupo a Sudeste composto pela Ilha Selvagem Pequena e o Ilhéu de Fora, Figura 30.

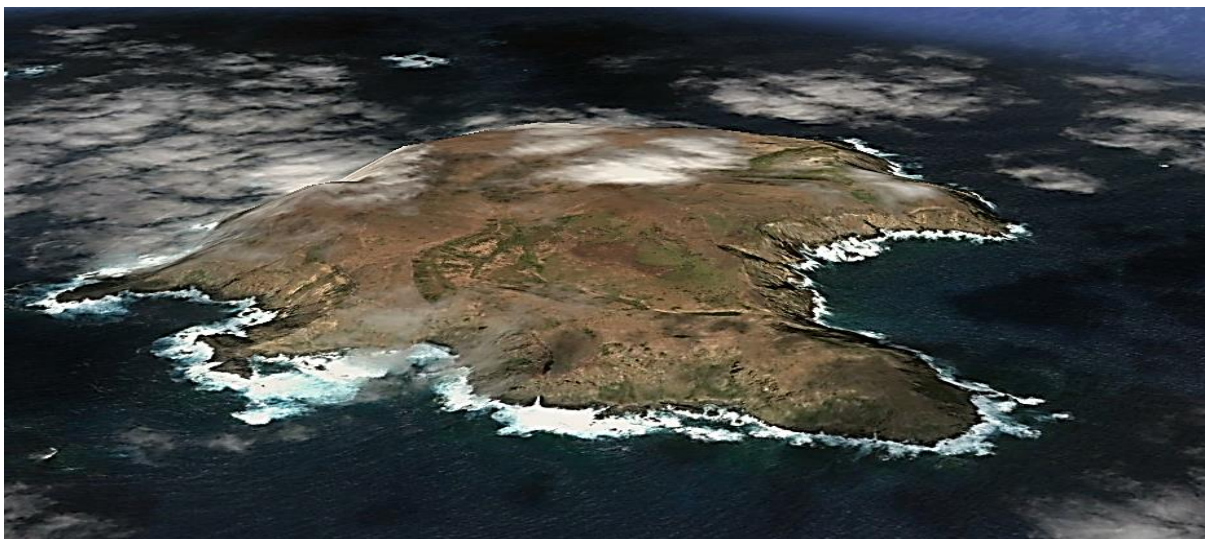


Figura 30 - Ilhas Selvagens

O arquipélago da Madeira pertence a uma região biogeográfica denominada por Macaronésia, sendo esta constituída pelos arquipélagos dos Açores, Canárias e Cabo Verde. Sendo ilhas de origem vulcânica, estas possuem afinidades biológicas, geológicas e humanas.

3.2. ENQUADRAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A Região Autónoma da Madeira é constituída por um diverso conjunto de estruturas portuárias, ao longo de toda a sua extensão, sendo as mesmas identificadas nas Figura 31 e Figura 32, a sua localização é descrita na Tabela 8.

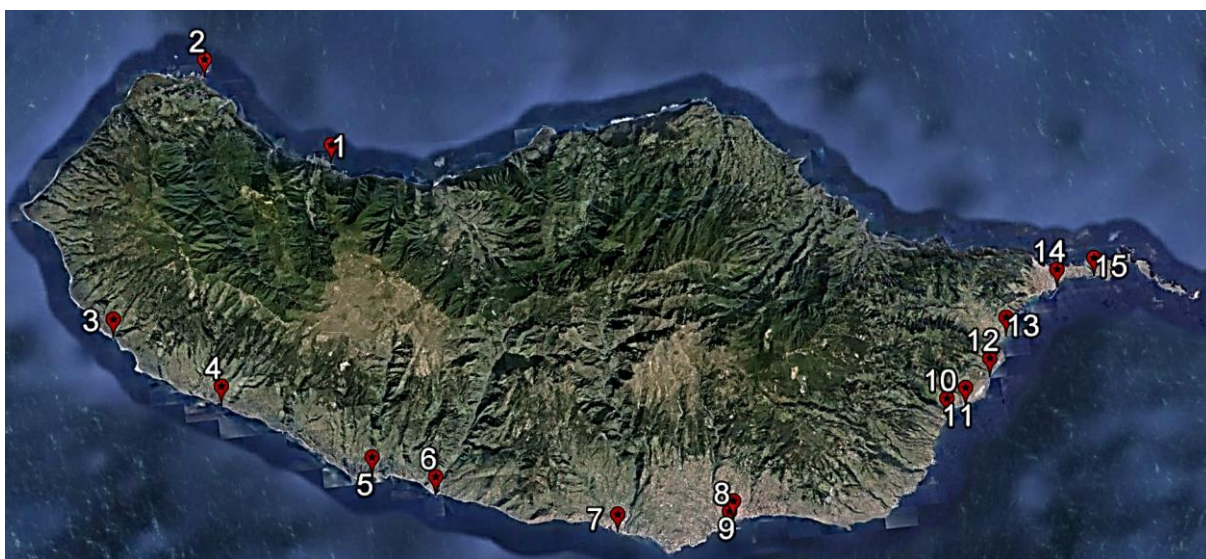


Figura 31 - Estruturas Acostáveis da Ilha da Madeira



Figura 32 - Estrutura Acostável do Porto Santo

Tabela 8 - Localização das Estruturas Acostáveis

1	Cais do Seixal		9	Porto de Recreio do Funchal
	32°49'21.44"N			32°38'45.91"N
	17° 6'8.41"W			16°54'37.19"W
2	Porto do Porto Moniz		10	Terminal do Porto Novo
	32°51'59.71"N			32°41'2.21"N
	17° 9'54.18"W			16°47'39.95"W
3	Cais do Paúl do Mar		11	Cais de Santa Cruz
	32°45'8.40"N			32°41'16.78"N
	17°13'27.46"W			16°47'2.83"W
4	Porto de Recreio da Calheta		12	Porto de Abrigo do Posto de Socorros a náufragos do aeroporto da Madeira
	32°43'4.64"N			32°42'1.09"N
	17°10'16.45"W			16°46'11.54"W
5	Porto de Recreio do lugar de Baixo		13	Porto de recreio de Machico
	32°40'48.14"N			32°43'5.47"N
	17° 5'46.51"W			16°45'34.00"W
6	Cais da Ribeira Brava		14	Porto do Caniçal
	32°40'7.30"N			32°44'16.37"N
	17° 3'50.75"W			16°43'49.14"W
7	Terminal dos Socorridos		15	Porto de recreio da Quinta do Lorde
	32°38'40.55"N			32°44'29.44"N
	16°58'16.39"W			16°42'37.56"W
8	Porto do Funchal		16	Porto do Porto Santo
	32°38'29.19"N			33° 3'33.98"N
	16°54'46.51"W			16°18'36.63"W

3.2.1. Portos em estudo

Os Portos da Madeira são um ponto de referência para os navios que percorrem as rotas transatlânticas, com uma localização privilegiada no Oceânico Atlântico, Figura 33.

O Porto do Funchal é a principal estrutura portuária da Região Autónoma da Madeira, sendo atualmente uma infraestrutura portuária destinada aos Navios de Cruzeiro, Navios de Guerra e Navios Escola.

O Porto do Caniçal destina-se ao comércio, tendo como função o abastecimento da RAM, através dos Navios Porta-contentores, de embarcações piscatórias e pelo abastecimento de combustíveis através do Terminal Logístico de Combustíveis.

O Porto do Porto Moniz é o principal ponto de ligação da Costa Norte da Ilha da Madeira, sendo destinado às atividades marítimas da população da Costa Norte. Permite ainda a ligação por via aérea para situações de emergência, através do Heliporto, devido à longa distância desta localidade ao Hospital do Funchal, no entanto esta nunca cumpriu com essa missão, porque a estrutura não suporta a aeronave de socorro da Força Aérea Portuguesa “Merlin”.

O Porto do Porto Santo caracteriza-se por ser uma infraestrutura mista, pois é utilizado por Navios de Cruzeiro e por Navios de Mercadoria, possui um cais destinado a embarcações de pesca e a navios de recreios, detém ainda um terminal de cimentos, sendo uma estrutura portuária de pequena escala face ao universo populacional residente.



Figura 33 - Portos em estudo

3.2.1.1. Porto do Funchal

O Porto do Funchal localiza-se na costa Sul da Ilha da Madeira, a cerca de 685.0 km da Costa Africana e a 973.0 km de Lisboa. O Porto do Funchal divide-se em duas zonas, a zona a Norte e a Zona a Sul, Figura 34

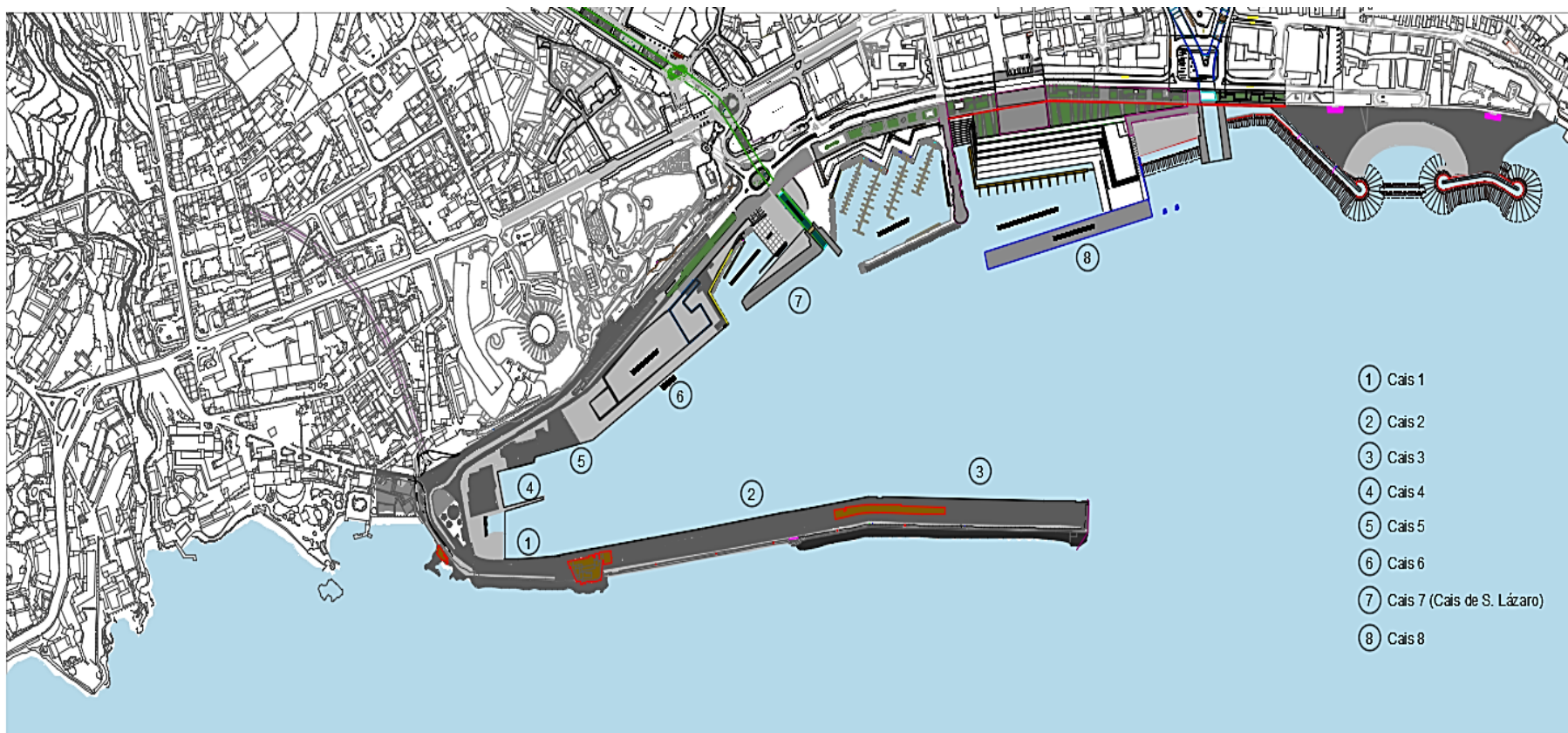


Figura 34 - Porto do Funchal

A zona Sul possui uma superfície de cerca de 32000.00 m², com um comprimento de 922.0 m de cais acostável. É composta pelo Forte de S. José, pelo Molhe da Pontinha e pelos Cais 1, 2 e 3.

O Cais 1 tem 150.0 m de comprimento, tendo a capacidade de receber navios Ro-Ro com calados até 7 m, pois possui uma rampa Ro-Ro com 32.0 m de largura, sendo normalmente utilizado pelo Ferry L. Marinho, Figura 35 e Figura 36.



Figura 35 - Cais 1 - Parte Interior



Figura 36 - Cais 1 - Parte Exterior

O Cais 2 tem 425.0 m de comprimento, estando destinado a receber Navios Cruzeiro e Navios de Guerra com calados até 11.0 m, Figura 37.



Figura 37 - Cais 2 - Parte Exterior

O Cais 3 possui 347.0 m de comprimento, sendo destinado a Navios Cruzeiro com calados até 11.0 m, Figura 38 e Figura 39.



Figura 38 - Cais 3 - Parte Interior



Figura 39 - Cais 3 - Parte Exterior

A zona Norte é constituída pelos cais 4 a 8 e pela Marina do Funchal.

O Cais 4 localiza-se no extremo Oeste do Porto, destinado a Navios Patrulha da Marinha Portuguesa e a Embarcações de Pesca, com calados até 6.0 m, tendo este 100.0 m de comprimento, Figura 40.



Figura 40 - Cais 4

O Cais 5 destina-se a Embarcações de Pesca e Embarcações de Serviço do Porto, situando-se a nascente do cais 4. Este possui 95.0 m de comprimento e permite a atracação de embarcações com calado até 6.0 m, Figura 41.



Figura 41 - Cais 5

O Cais 6 com 260.0 m de comprimento situa-se a nascente do cais 5, este encontra-se reservado a Navios de Cruzeiro com calados até 8.0 m, Figura 42.



Figura 42 - Cais 6

O Cais 7 mais conhecido pelo Cais de S. Lázaro tem de comprimento 140.0 m. Dispõem de uma pequena doca, a qual possui infraestruturas de apoio às embarcações com uma rampa varadouro, Figura 43.

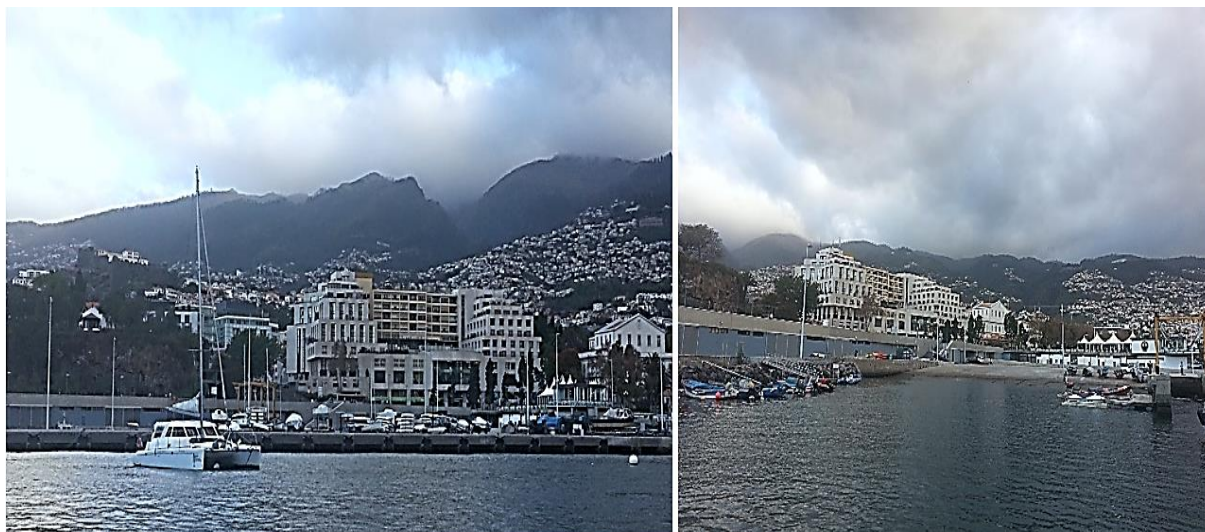


Figura 43 - Cais 7

O Cais 8 possui 330.0 m de comprimento e 22.0 m de largura, tendo a capacidade de atracação de Mega lates ou um Navio Cruzeiro até 275.0 m com um calado ate 8.0 m, possuindo ainda uma nova marina para embarcações de atividade turística, Figura 44.

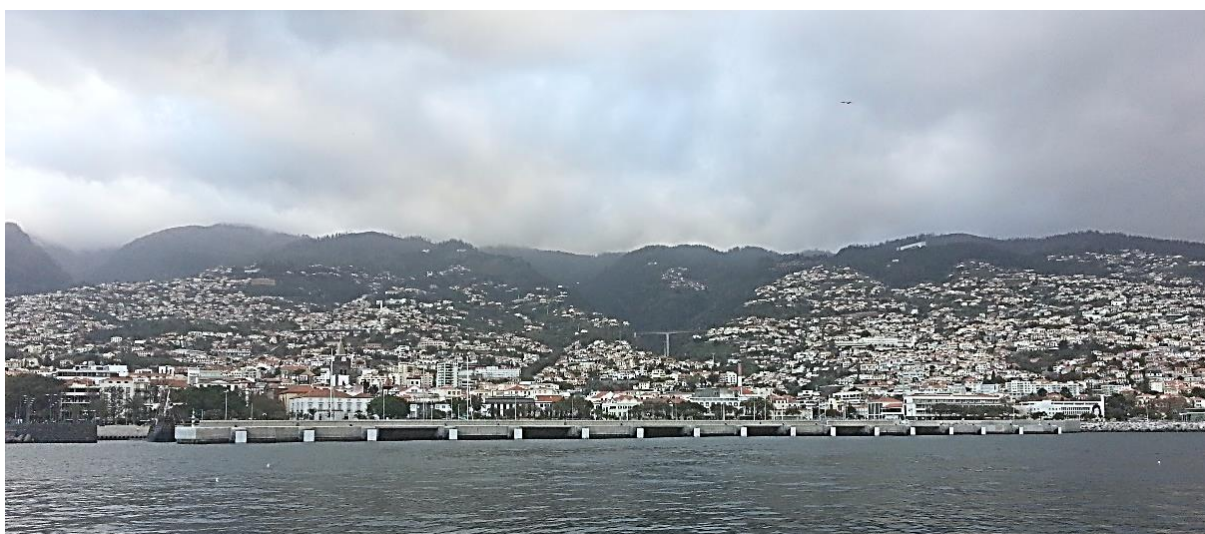


Figura 44 - Cais 8

3.2.1.2. Porto do Caniçal

O Porto do Caniçal localiza-se na costa Este da Ilha da Madeira, a 30.0 km do Funchal e a 4.0 km a Oeste da Ponta de S. Lourenço, sendo o único porto da Ilha com infraestruturas de movimentação de cargas comerciais, nomeadamente cargas gerais, granéis sólidos e líquidos e cargas contentorizadas. O porto é constituído por dois cais principais, o Cais Norte e o Cais Sul, um Cais de Abrigo, um Terminal Logístico de Combustíveis e um Estaleiro Naval, Figura 45.

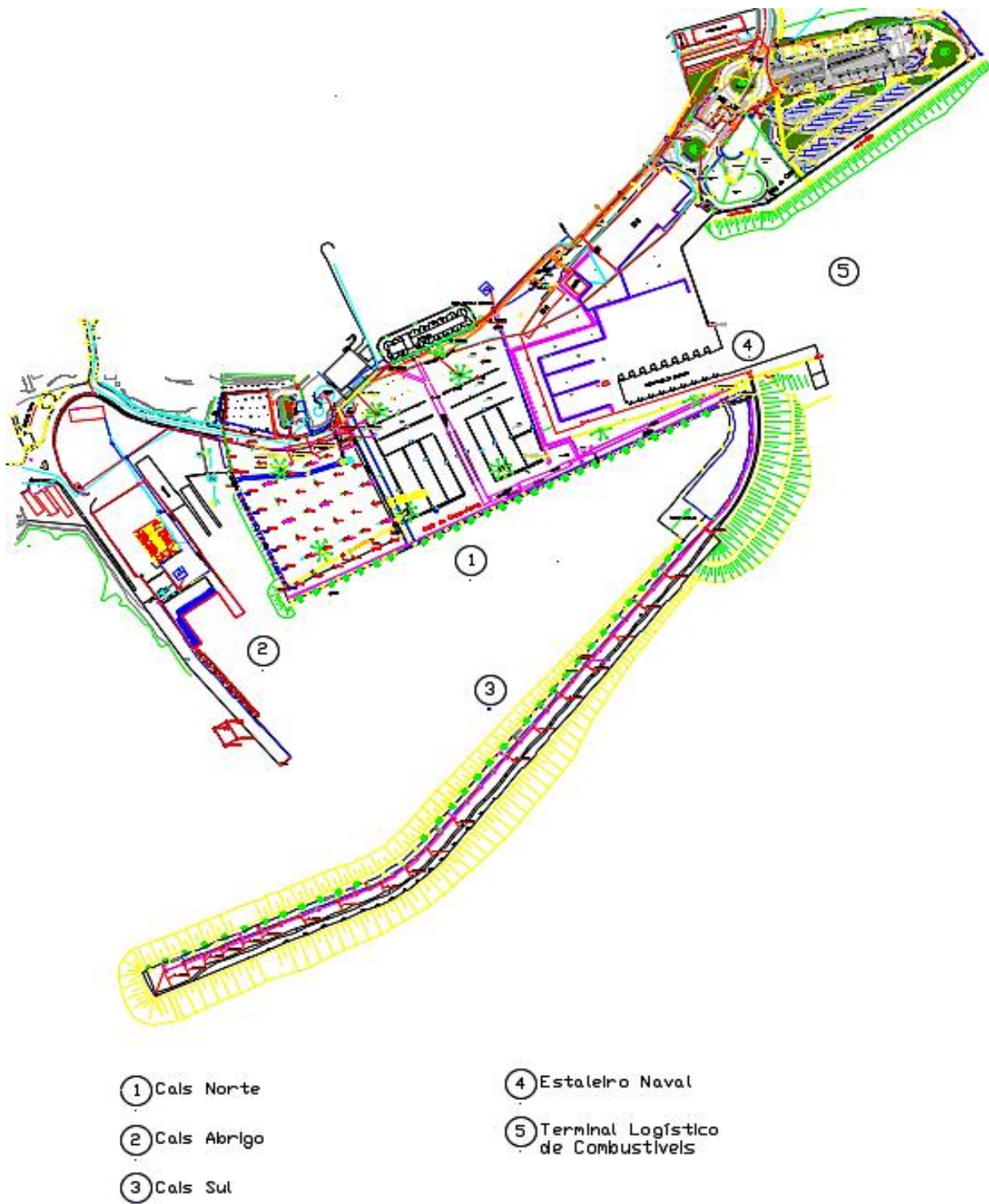


Figura 45 - Porto do Caniçal

O Cais Norte possui um comprimento de 420.0 m, tendo a capacidade de atracagem de três navios porta-contentores com um comprimento máximo cada de 120.0 m, com calados até 7.0 m, Figura 46.



Figura 46 - Cais Norte (N)

O Cais Sul tem 271.0 m de comprimento, sendo este vocacionado para a descarga de navios Ro-Ro, pois possui uma rampa com 28.5 m de largura, Figura 47. Tem a capacidade de receber dois navios com um comprimento máximo de 130 m e um calado até 11.0 m, Figura 48.



Figura 47 - Rampa Ro-Ro



Figura 48 - Cais Sul (S)

O Cais de Abrigo é destinado a embarcações de pesca, tendo um comprimento de 80.0 m e possui uma rampa de varagem, Figura 49.



Figura 49 - Cais de Abrigo

O Terminal Logístico de Combustíveis é constituído por quatro boias de amarração, (Figura 50), orientadas Sul / Norte, com ganchos de desengate rápido, ligadas a três tubagens submarinas com cerca de 450.0 m de comprimento, que terminam num sistema PLEM

(*Pipeline End Manifold*) colocado a cota -23.0 ZH (Zero Hidrográfico), ao qual fazem a ligação aos navios abastecedores. Tem a capacidade de receber navios até 180.0 m de comprimento, Figura 51.

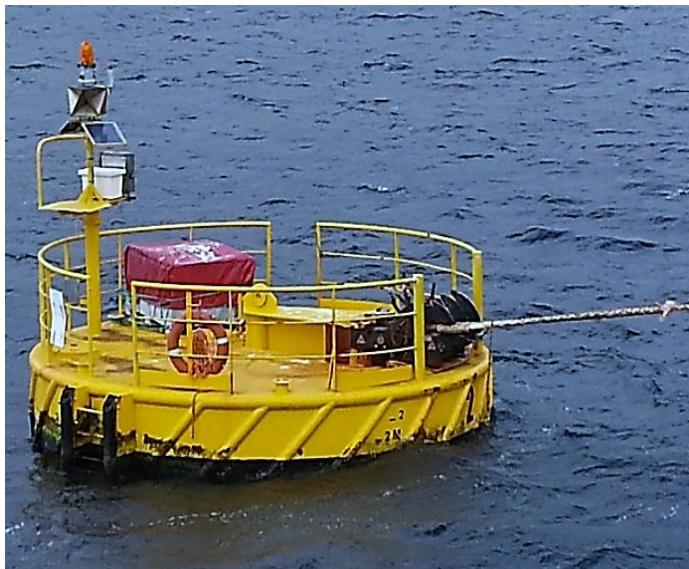


Figura 50 - Boia de amarração



Figura 51 - Terminal de Combustíveis

O Estaleiro naval é constituído por um pavilhão para oficinas, armazém e por um elevador de navios Syncrolift, Figura 52.



Figura 52 - Estaleiro Naval

3.2.1.3. Porto do Porto Moniz

O Porto do Porto Moniz está localizado na Costa Norte da Madeira, a 32.0 Km do Funchal, Figura 53.

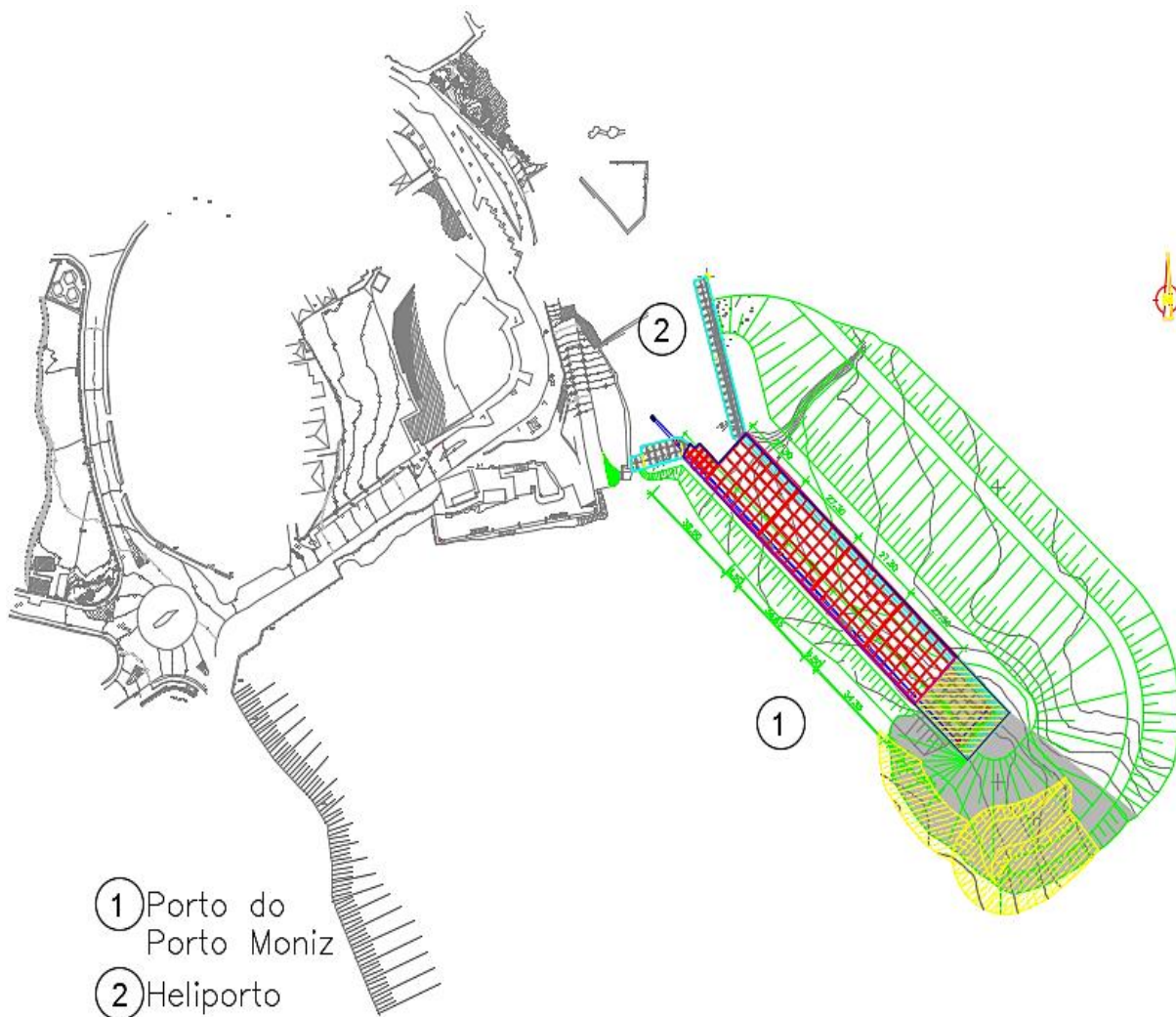


Figura 53 - Porto do Porto Moniz

O porto tem uma extensão de 120.0 m e uma cota ZH (Zero Hidrográfico) de 8.0 m, Figura 54



Figura 54 - Porto do Porto Moniz - Parte Exterior

Destina-se a embarcações de pesca, inclui ainda um heliporto para utilização em situação de emergência, Figura 55.



Figura 55 - Porto do Porto Moniz - Parte Interior

3.2.1.4. Porto do Porto Santo

O Porto do Porto Santo encontra-se a Nordeste da Ilha da Madeira e a 26.0 km da Ponta de S. Lourenço. O porto é composto por um Cais Principal, um Cais de Proteção e um Terminal de Cimentos, Figura 56.

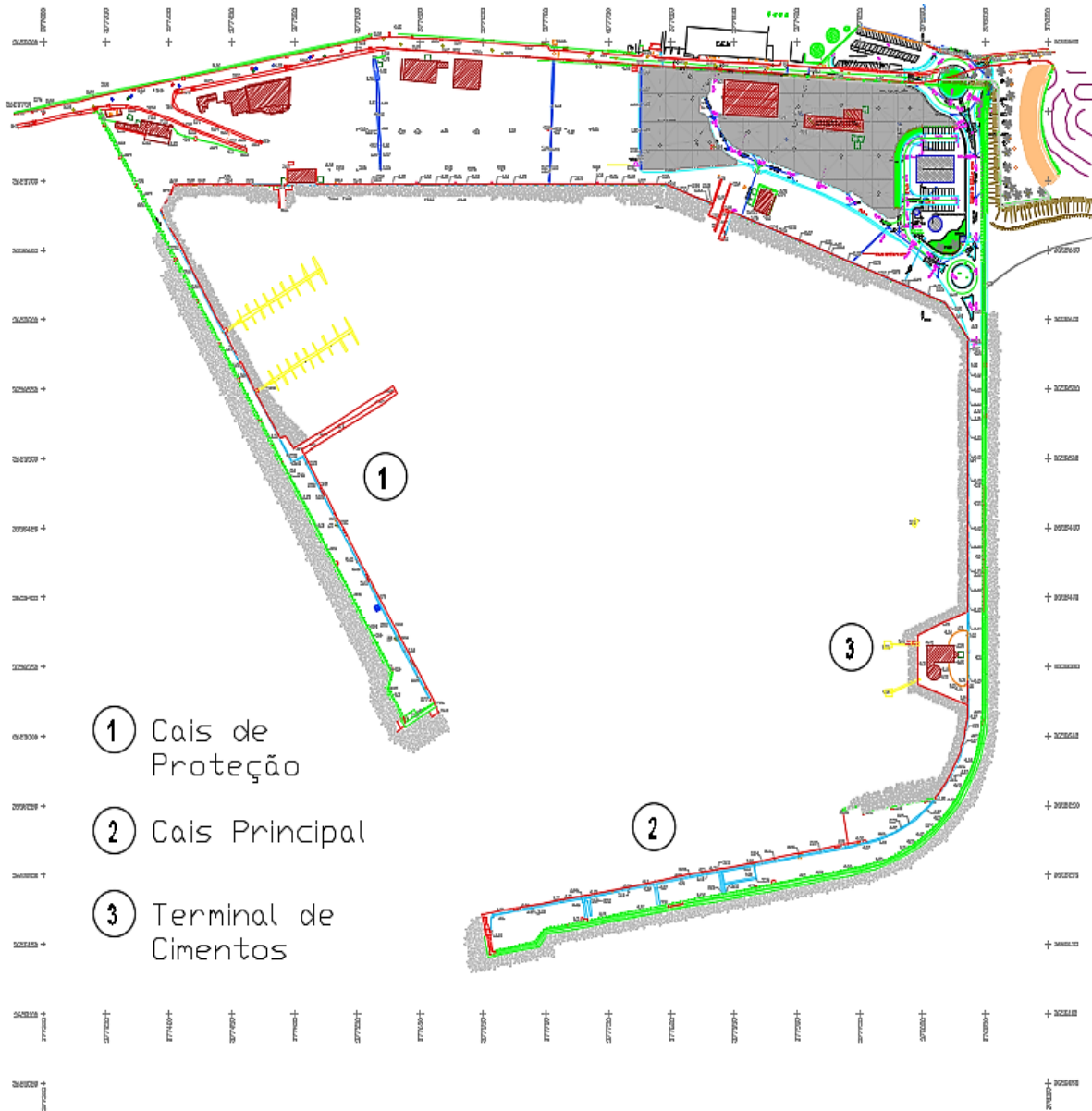


Figura 56 - Porto do Porto Santo

O Cais Principal localiza-se a Sul com 290.0 m de comprimento e uma cota ZH (Zero Hidrográfico) de 7.0 m e tem uma rampa Ro-Ro. É destinado a navios de cruzeiro e navios de mercadoria, tendo este um comprimento máximo de 150.0 m, Figura 57.



Figura 57 - Cais Principal do Porto Santo

O Cais de Proteção tem de comprimento 210.0 m e um calado de 4.0 m. Este cais é utilizado por embarcações de pesca e por navios de recreio, Figura 58.



Figura 58 - Cais de Proteção do Porto Santo

O Terminal de Cimentos é composto por dois Duques D' Alba e uma boia de amarração à popa, tendo a capacidade de receber navios cimenteiros com 120.0 m de comprimento e um calado de 6.0 m, Figura 59.



Figura 59 - Terminal de Cimentos do Porto Santo

3.2.2. Boias Ondógrafo

As boias ondógrafo direcionais são equipamentos que medem a aceleração vertical dos movimentos da superfície do mar e a direção de propagação das ondas. Os dados adquiridos são transmitidos por via rádio para estações recetoras que recebem e descodificam os dados, transmitindo os parâmetros que melhor caracterizam a agitação marítima em tempo real.

A obtenção dos dados é efetuada em intervalos de digitalização de 0.78125 s, sendo este gravados de dois modos:

- Séries temporais de 10 min, sendo estas processadas em tempo real, em intervalos de um a dois minutos, estas séries temporais são da maior relevância para o controlo de obras portuárias, a navegadores e a praticantes de desportos marítimos;
- Séries temporais de 30 min, sendo processadas posteriormente, em intervalos de três horas (em situações de temporal é efetuado em intervalos de um minuto, por forma a controlar a tempestade). Estas séries são normalmente utilizadas para estudos de caracterização do estado do mar, pois os registos tem uma maior duração o que permite ter uma maior confiança estatística.

Os registos apresentam os seguintes parâmetros:

- Parâmetros espectrais e direcionais:
 - H_{m0} - altura significativa (m);
 - T_{02} - período médio (s);

- P_T - período de pico (s);
 - T_{htp} - direção média associada ao período de pico ($^\circ$);
 - S_{prtp} - dispersão no período de pico ($^\circ$).
- Parâmetros calculados pelo método direto:
- H_s - altura significativa (média do terço mais elevado das altura de onda de zero ascendente) (m);
 - H_{max} - altura máxima de zero ascendentes ocorridas no registo (m);
 - T_{hs} - média dos períodos correspondentes às ondas que foram utilizadas no cálculo de H_s (s);
 - T_{hmax} - período correspondente a H_{max} (s);
 - T_z - média dos períodos de zero ascendentes (s);
 - T_{max} - período máximo ocorrido no registo (s).

A Região Autónoma da Madeira atualmente dispõem de duas boias ondógrafo em funcionamento, sendo estas administradas pela APRAM. Na realização da dissertação foram considerados em linha de conta os registos efetuados pelas seguintes boias, Figura 60 e Tabela 9.

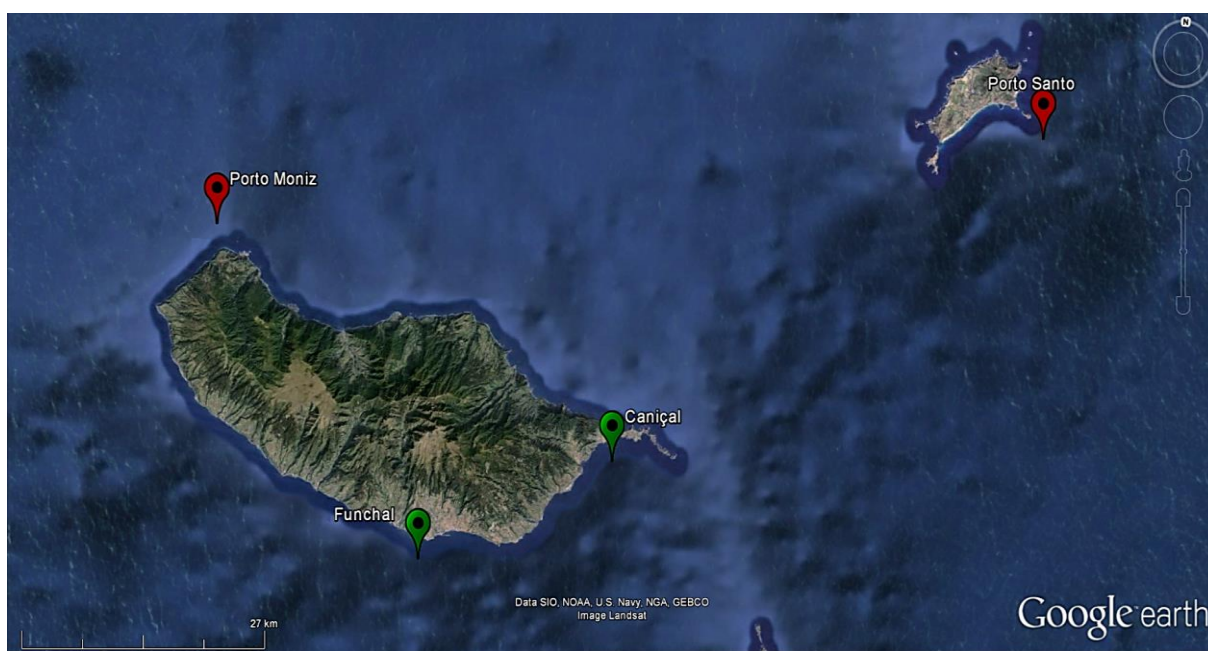






Figura 60 - Boias Ondógrafo da RAM

As boias ondógrafos em serviço encontram-se representadas pelos marcadores verdes e as boias fora de serviço atualmente correspondem aos marcadores vermelhos.

Tabela 9 - Localização das Boias Ondógrafo

	Funchal			Cançal
	32°37'06" N			32°43'12" N
	16°56'30" W			16°43'42" W
Prof = 100.0 m	Prof = 108.0 m			
	Porto Moniz			Porto Santo
	32°53'28" N	33°02'08" N		
	17°12'17" W	16°15'40" W		
Prof = 90.0 m	Prof = ---			

CAPÍTULO 4

ORGANIZAÇÃO/TRATAMENTO DE DADOS

RESULTADOS

4.1. ORGANIZAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

4.1.1. Clima Marítimo

O estudo do clima marítimo é crucial na conceção das estruturas portuárias, permitindo determinar as condições de onda de cálculo, através de dados históricos das ondas.

4.1.1.1. Agitação Marítima

O regime de agitação marítima para o Porto do Funchal foi estabelecido com base nos dados da boia ondógrafo existente, no período de tempo entre janeiro de 2005 e dezembro de 2015, Tabela 10, disponibilizados pela Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira (APRAM). A caracterização da agitação marítima foi efetuada tendo por base a altura de onda significativa e a direção média associada ao período de pico.

Tabela 10 - Excerto dos registos da Boia ondógrafo do Funchal

Ano	Mês	Dia	Hora	Minuto	H _{MO} (m)	T _P (s)	T _{O2} (s)	T _{HTP} (°)	H _{MAX} (m)	T _{MAX} (s)
2005	1	1	0	30	1,0	14,3	4,2	243,00	1,4	11,7
2005	1	1	3	0	0,9	13,3	4,1	250,00	1,4	14,1
2005	1	1	6	0	1,0	14,3	4,0	261,00	1,4	12,5
2005	1	1	9	0	1,0	5,5	4,4	119,00	1,6	14,8
2005	1	1	12	0	1,0	5,5	4,2	141,00	1,5	12,5
2005	1	1	15	0	1,0	13,3	4,5	256,00	1,3	13,3
2005	1	1	18	0	0,8	12,5	4,8	257,00	1,2	14,1
-	-					-				-
-	-					-				-
-	-					-				-
2015	12	30	18	0	1,0	13,3	4,9	214,00	1,3	14,1
2015	12	30	21	0	1,0	11,8	5,1	267,00	1,6	15,6
2015	12	31	0	0	1,1	9,1	6,1	277,00	1,6	14,8
2015	12	31	3	0	1,2	10,5	6,0	277,00	2,0	14,8
2015	12	31	6	0	1,3	10,0	6,3	279,00	2,2	15,6
2015	12	31	9	0	1,5	14,3	6,1	274,00	2,0	14,1
2015	12	31	12	0	1,3	14,3	6,6	268,00	2,2	15,6
2015	12	31	15	0	1,3	10,0	6,3	274,00	2,0	16,4
2015	12	31	18	0	1,3	13,3	6,8	267,00	1,8	15,6
2015	12	31	21	0	1,4	13,3	6,2	270,00	1,9	16,4

Foi efetuado o estudo ao nível do regime anual e do regime estacional. Ao nível do regime estacional, este foi estabelecido segundo as estações meteorológicas, por forma a simplificar os cálculos climatológicos e mantê-los uniformes, para tal considera-se estes períodos de tempo:

- primavera: 1 de março até 31 de maio;
- verão: 1 de junho até 31 de agosto;
- outono: 1 de setembro até 30 de novembro;
- inverno: 1 de dezembro até 28/29 de fevereiro.

A nível direcional, considera-se um máximo de dezasseis direções na Rosa dos Ventos. Cada direção cobre um sector com uma amplitude de 22.5° . Inclui-se em cada direção todas as ondas que ocorrem nos sectores, em intervalos de $\pm 11.25^\circ$, Figura 61.

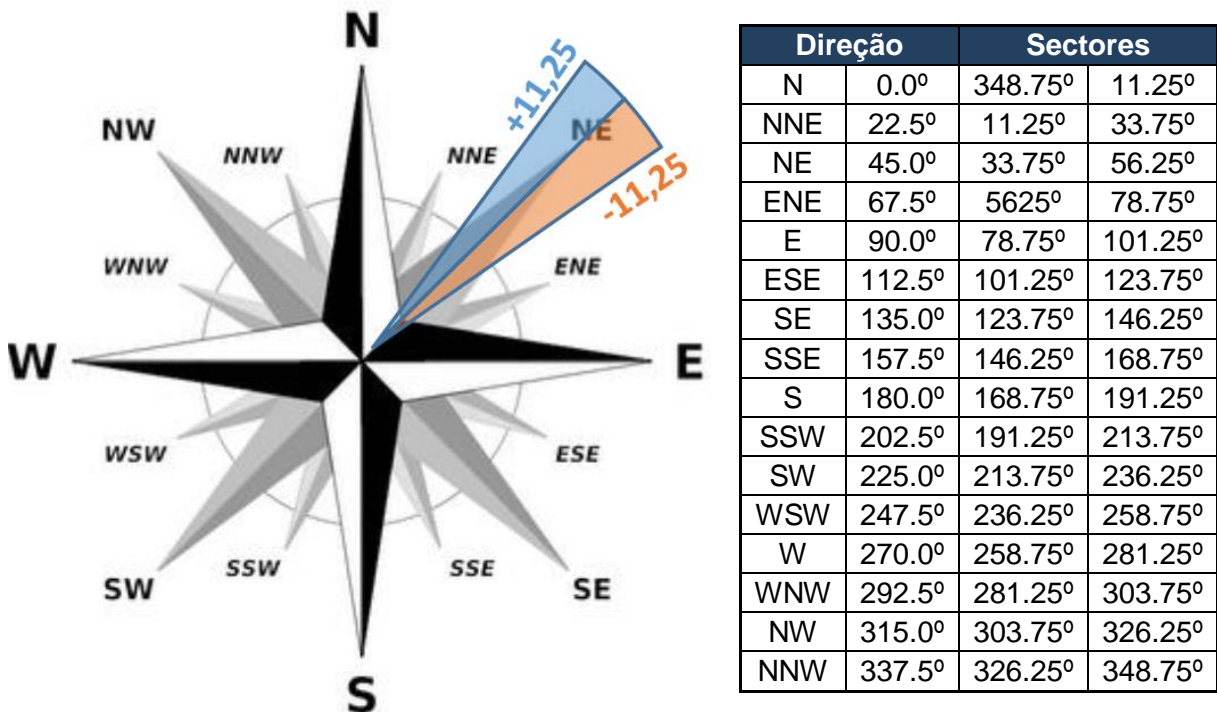


Figura 61 - Rosa dos Ventos

4.1.1.2. Regime Anual

Na caracterização das condições da agitação marítima a nível anual foram consideradas as percentagens de ocorrência das alturas significativas, os períodos de pico e as direções médias, os gráficos apresentados são relativos ao Funchal, encontrando-se em anexo as restantes caracterizações. No Funchal a altura de onda significativa predominante encontra-se entre os 0.5 m e 1.0 m de altura, tendo esta ocorrido 52.88% do tempo. A nível do maior registo de altura de onda, este foi estabelecido entre os 5.5 m e os 6.0 m tendo surgido em nove ocasiões, Figura 62.

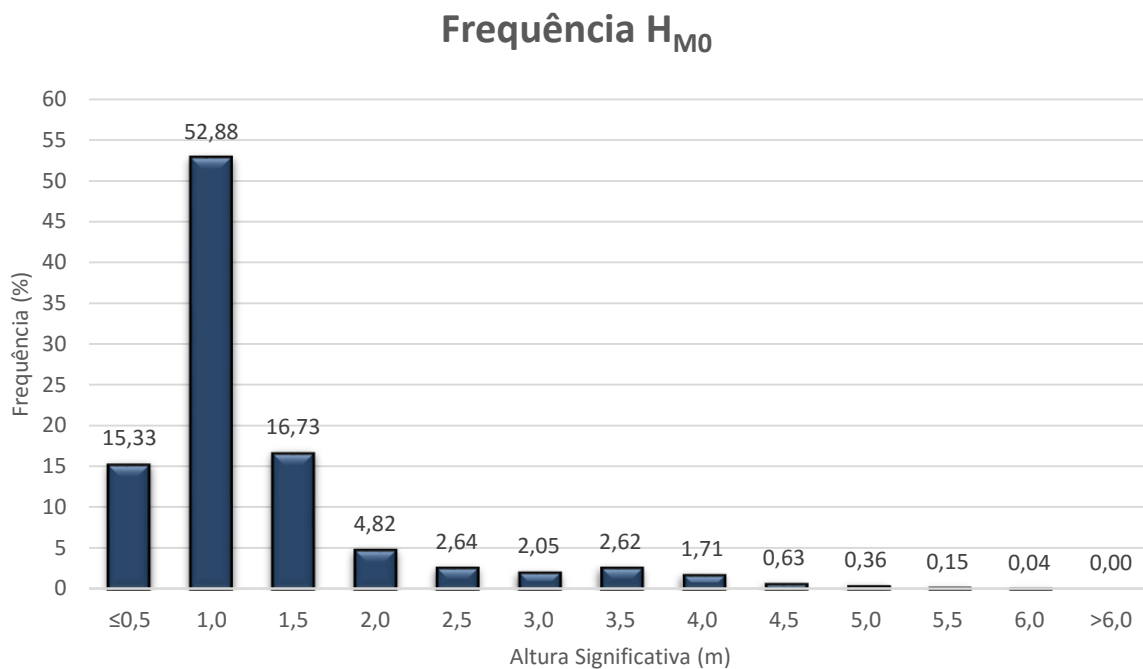


Figura 62 - Frequência da altura de onda significativa anual do Funchal

O período de pico é um parâmetro que varia muito ao longo do tempo, dai verificar percentagens semelhantes de ocorrência ao longo do ano, Figura 63.

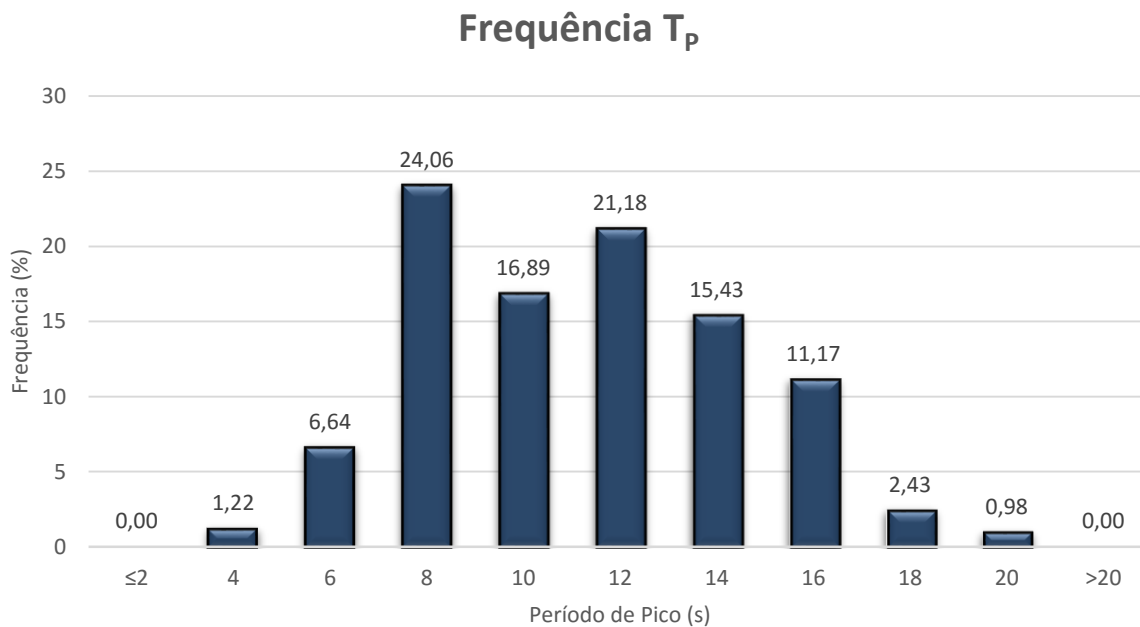


Figura 63 - Frequência do período de pico anual do Funchal

A propagação de onda proeminente no Funchal encontra-se no quadrante Sul (S) - Oeste (W). Cerca de 41.55% das ondas surge de Oeste e 12.93% de Su-Sudoeste (SSW). No quadrante Sul - Este (E) 13.11% surge de Este e 4.47% de És-Sudeste (ESE), Figura 64.

Frequência Direcional

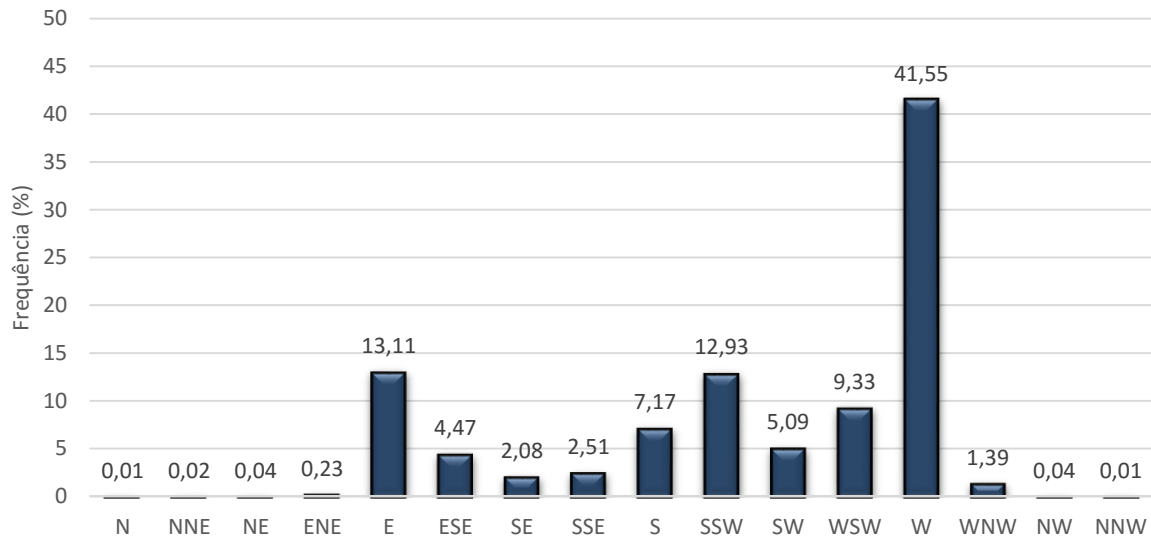


Figura 64 - Frequência direcional anual do Funchal

A altura de onda significativa predominante do Funchal surge aproximadamente 20.0% das vezes de Oeste e cerca de 10.0% de Este, Figura 65.

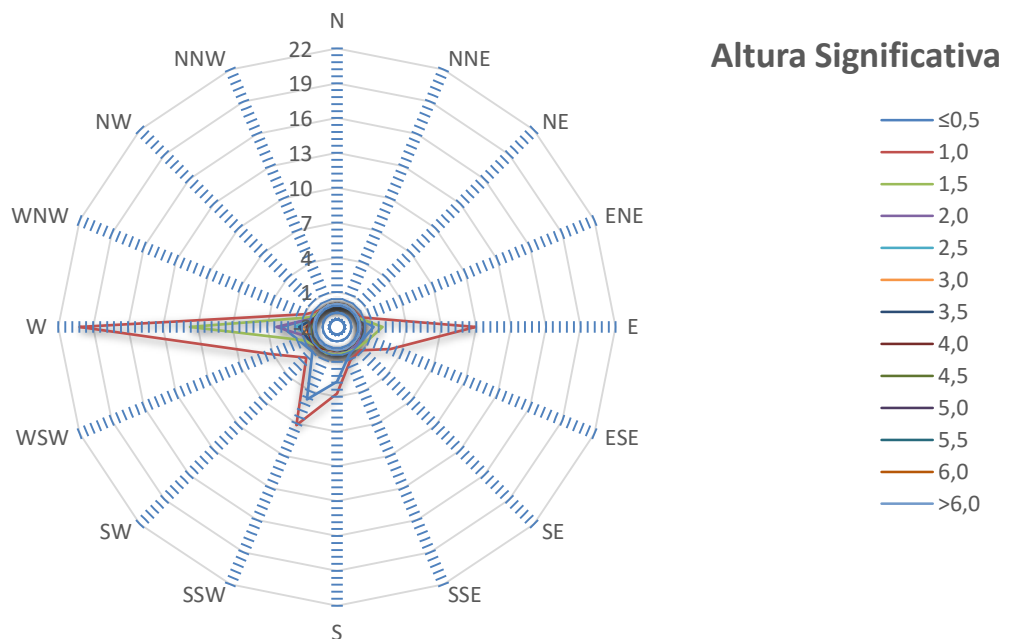


Figura 65 - Direção da altura de onda significativa anual do Funchal

4.1.1.3. Regime Estacional

Tendo por base o regime anual foi estabelecido durante um ano quatro períodos de tempo, (primavera, verão, outono e inverno), por forma a caracterizar o regime de agitação marítima ao longo do ano. Sendo apresentado de seguida a caracterização efetuada no período de inverno, os restantes períodos encontram-se em anexo.

O período de inverno é um dos períodos do ano no qual é registado as maiores alturas de onda significativa e os maiores períodos de pico, como podemos observar na Figura 66 e Figura 67.

As maiores alturas de ondas significativas registadas no Funchal (entre os 5.5 m e os 6.0 m) ocorreram durante quatro vezes no período de inverno, Figura 66.

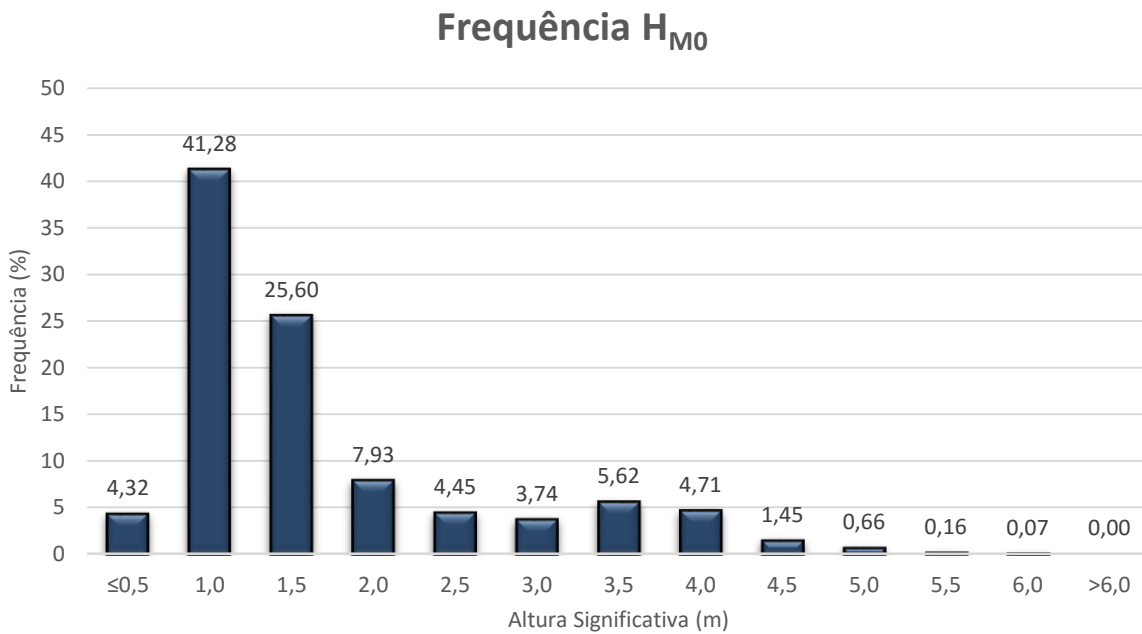


Figura 66 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Funchal (inverno)

A nível de ocorrência, o período de pico no inverno encontra-se estabelecido entre os 12 s e os 14 s, Figura 67.

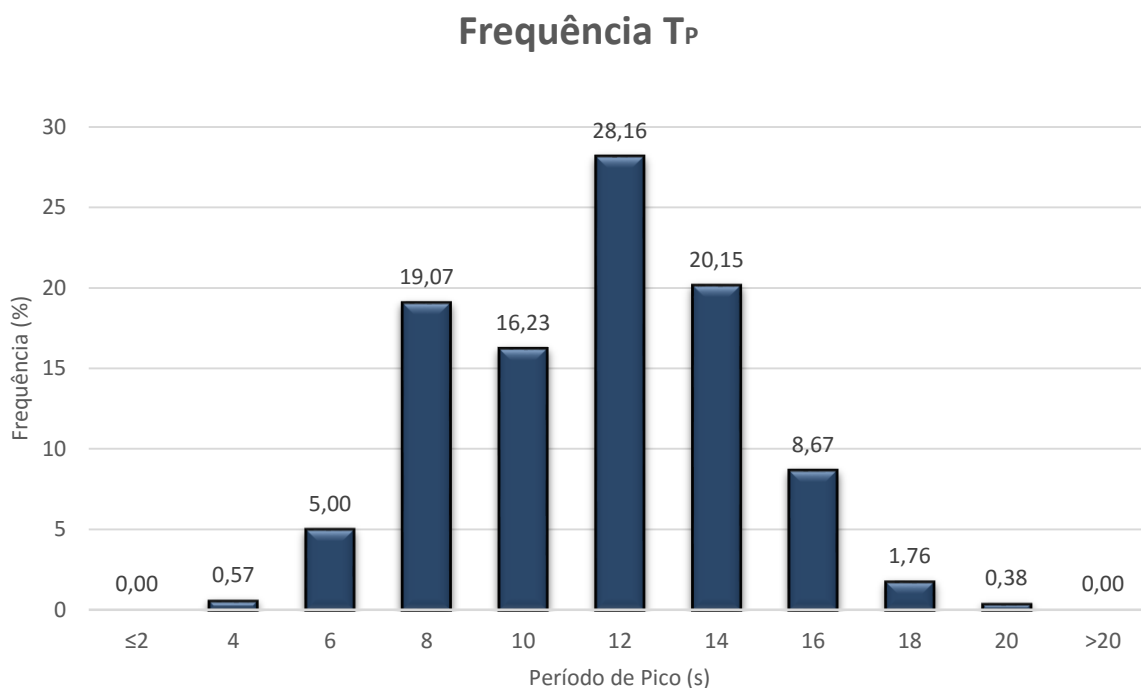


Figura 67 - Frequência do período de pico estacional do Funchal (inverno)

Como já foi referenciado no regime anual a propagação de onda preponderante encontra-se no quadrante Sul - Oeste, tendo esta uma maior incidência de Oeste com 56,06% de ocorrência no inverno.

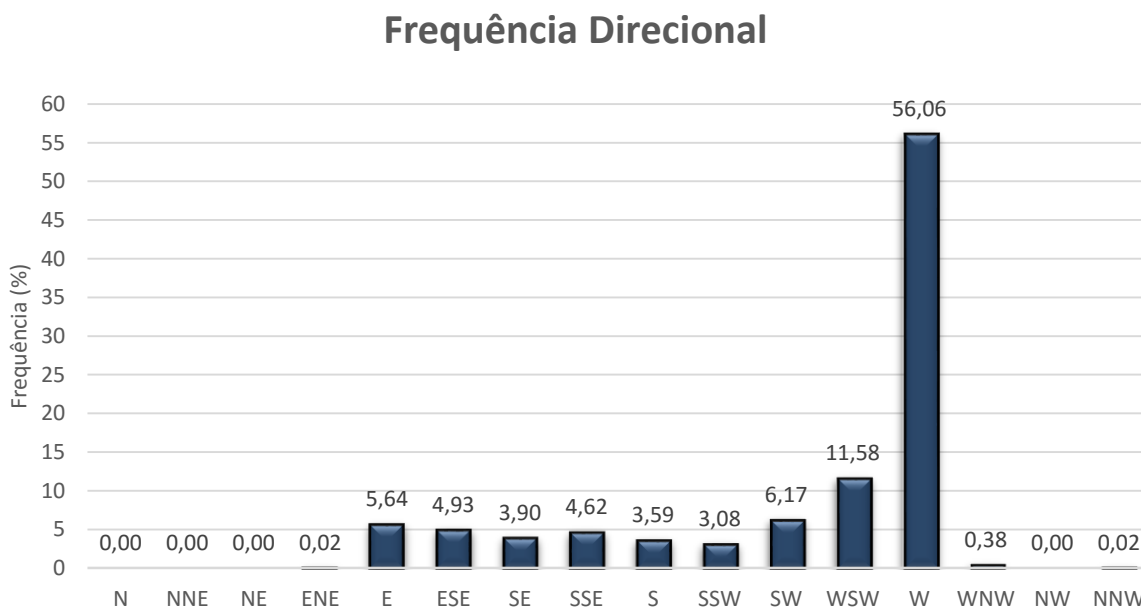


Figura 68 - Frequência direcional estacional do Funchal (inverno)

A direção de onda predominante ocorre de Oeste, sendo a partir desta direção que surgem as maiores alturas de onda significativa, Figura 69.

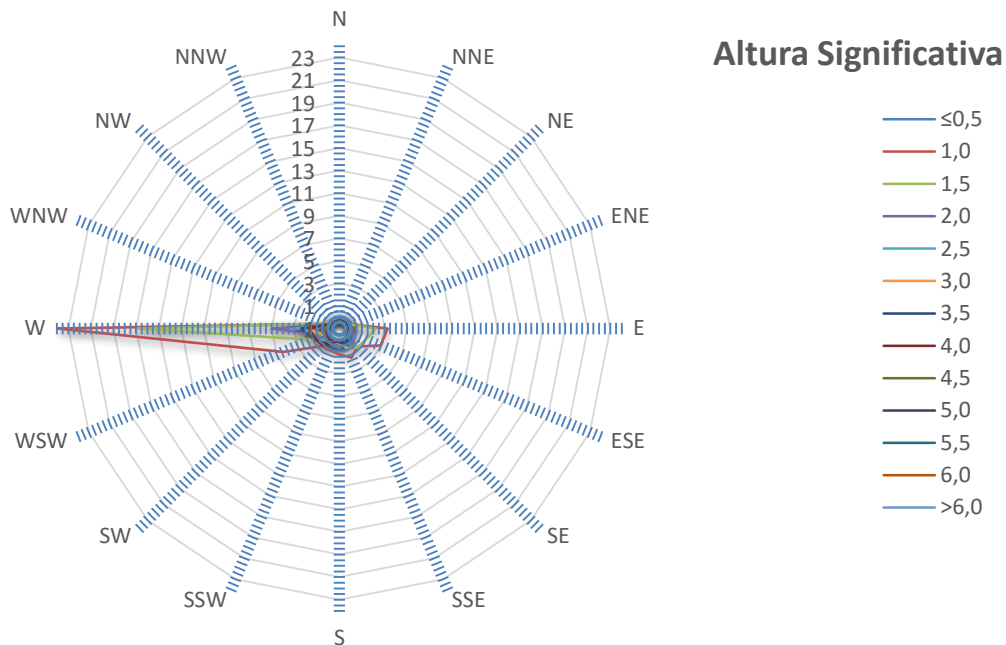


Figura 69 - Direção da altura de onda significativa estacional do Funchal (inverno)

4.1.2. Análise Probabilística

Tendo como objetivo caracterizar a agitação marítima de um determinado local, recorre-se aos valores das alturas significativas das ondas máximas anuais em zonas costeiras, através dos registos efetuados pelas boias ondógrafos, presentes no local, registos esses fornecidos pela APRAM.

Na análise probabilística é efetuado o processo de ajuste de leis estatísticas relativamente às alturas de ondas significativas e estimação desses valores em relação à função da probabilidade de excedência, efetuando a seguinte metodologia de cálculo, Figura 70.

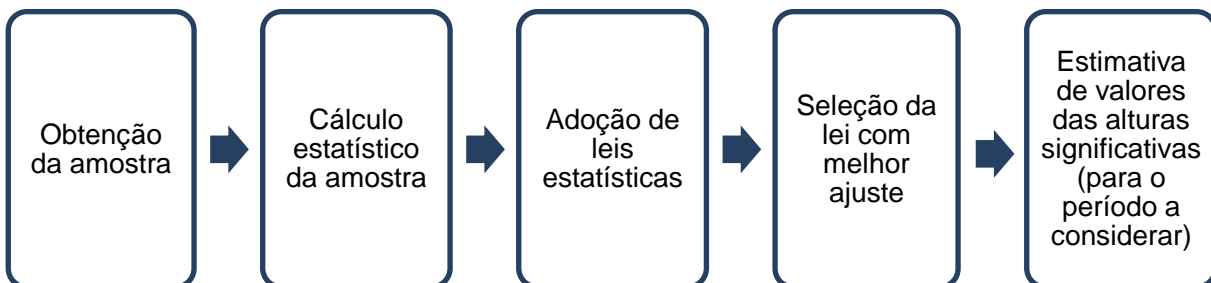


Figura 70 - Metodologia para análise probabilística

A primeira fase corresponde ao estabelecimento de uma amostragem adequada e fiável recorrendo aos dados disponibilizados pela APRAM, Tabela 11.

Tabela 11 - Alturas significativas máximas anuais do Funchal

Ano	Ano Hidrológico	H _{M0} (m)
2005	1	4,0
2006	2	4,0
2007	3	2,8
2008	4	5,6
2009	5	4,8
2010	6	5,9
2011	7	3,6
2012	8	3,8
2013	9	5,6
2015	10	3,8

Na segunda fase através da amostra estabelecida determinam-se certos parâmetros estatísticos, tais como:

- Média

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{eq.28})$$

- Desvio-padrão

$$s' = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (\text{eq.29})$$

- Coeficiente de variação

$$c_v = \frac{\sigma^2}{\bar{x}} \quad (\text{eq.30})$$

- Coeficiente de assimetria

$$c_a = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n - 1) \cdot (n - 2) \cdot s'^3} \quad (\text{eq.31})$$

Na terceira fase, aplica-se um conjunto de leis que poderão representar da melhor forma a distribuição dos valores da amostra, nestas condições adota-se leis de extremos, tais como: Lei Normal, de Log-normal ou de Galton, de Gumbel, de Pearson III e a Lei de Weibull, sendo esta a que melhor caracteriza a agitação marítima.

A quarta fase consiste na representação gráfica das leis teóricas, isto é, ao calcular as variáveis aleatórias (altura significativa) das respetivas probabilidades de ocorrência, de acordo com as diferentes leis referidas anteriormente.

$$\hat{X} = \bar{X} + K \cdot s' \quad (\text{eq.32})$$

Onde:

\hat{X} - Altura significativa anual máxima;
 K_i - Fator de probabilidade dependente da lei.

- Lei Normal

$$K_N = Z \quad (\text{eq.33})$$

$$= w - \frac{2,515517 + 0,802853w + 0,010328w^2}{1 + 1,432788w + 0,189269w^2 + 0,001308w^3}$$

Onde:

$$w = \sqrt{\ln(T^2)} \quad (\text{eq.34})$$

- Lei de Log-normal ou de Galton

$$K_{log} = \bar{x}_{\log Hm0} + K_N * s'_{\log Hm0} \quad (\text{eq.35})$$

Onde:

K_N - Fator de probabilidade da Lei Normal;
 $\bar{x}_{\log Hm0}$ - Média do logaritmo da altura significativa;
 $s'_{\log Hm0}$ - Desvio padrão do logaritmo da altura significativa.

- Lei de Gumbel

$$K_G = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0,577216 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (\text{eq.36})$$

- Lei de Pearson III

$$K_p = Z + (Z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(Z^3 - 6Z)k^2 - (Z^2 - 1)k^3 + 4Zk^4 + \frac{1}{3}k^5 \quad (\text{eq.37})$$

Onde:

$$k = \frac{c_s}{6} \quad (\text{eq.38})$$

Pela equação 32 determina-se a altura significativa anual máxima, segundo a Lei Normal, de Galton, de Gumbel e de Pearson.

A última fase consiste em estimar o valor da variável (altura significativa) para a probabilidade de não excedência, ou seja, para os períodos de retorno desejados.

- Lei de Weibull

$$G(x) = \exp\left(-\left(1 + \xi \frac{x - \lambda}{\delta}\right)^{-1/\xi}\right) \quad (\text{eq.39})$$

Os parâmetros ξ , λ , δ são determinados a partir da amostra de máximos que se dispõe, através das seguintes equações:

$$b_0 = \bar{x} \quad (\text{eq.40})$$

$$b_1 = \frac{x_{2n} + 2x_{3n} + 3x_{4n} + \dots + (n-1)x_{nn}}{n(n-1)} \quad (\text{eq.41})$$

$$b_2 = \frac{2x_{3n} + 6x_{4n} + 12x_{5n} + \dots + (n-1)(n-2)x_{nn}}{n(n-1)(n-2)} \quad (\text{eq.42})$$

$$c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} \frac{\ln 2}{\ln 3} \quad (\text{eq.43})$$

$$\xi = -7.8590 * c - 2.9554 * c^2 \quad (\text{eq.44})$$

$$\delta = \frac{-(2b_1 - b_0)\xi}{\exp(\text{lngama}(1 - \xi)) * (1 - 2^\xi)} \quad (\text{eq.45})$$

$$\lambda = b_0 - \frac{\delta(\exp(\text{lngama}(1 - \xi)) - 1)}{\xi} \quad (\text{eq.46})$$

A probabilidade da altura de onda máxima anual é determinada por:

$$P(x) = 1 - G(x) \quad (\text{eq.47})$$

O período de retorno de ondas de altura máxima anual é dado por:

$$T(x) = \frac{1}{1 - G(x)} \tag{eq.48}$$

Tabela 12 - Altura de onda estimada para o Funchal, para os respetivos Períodos de Retorno

Leis	Períodos de Retorno				
	5 Anos	10 Anos	25 Anos	50 Anos	100 Anos
Normal	5.3	5.7	6.2	6.5	6.8
Gumbel	5.1	5.7	6.5	7.1	7.7
Galton	5.2	5.8	6.5	7.0	7.5
Pearson III	5.2	5.7	6.3	6.7	7.0
Weibull	5.3	5.8	6.5	6.9	7.3

Segundo a metodologia de Weibull a altura de onda que caracteriza o Porto do Funchal para um período de retorno de 100 anos, (por trata-se de um infraestrutura de grande importância) é de 7.3 m. A Lei de Weibull foi a utilizada pois trata-se da formulação que melhor caracteriza a agitação marítima, ou seja, a lei que possui o melhor ajuste aos valores da normal reduzida relativamente às alturas significativas máximas anuais, Tabela 12.

4.1.3. Carol

O programa *Carol* caracteriza as variáveis oceanográficas definidas a partir de uma série temporal.

A disposição básica do programa encontra-se organizada em três módulos:

- Informações preambulares. Estatística descritiva dos dados;
- Caracterização do regime médio de uma determinada variável;
- Caracterização do regime de extremos de uma determinada variável.

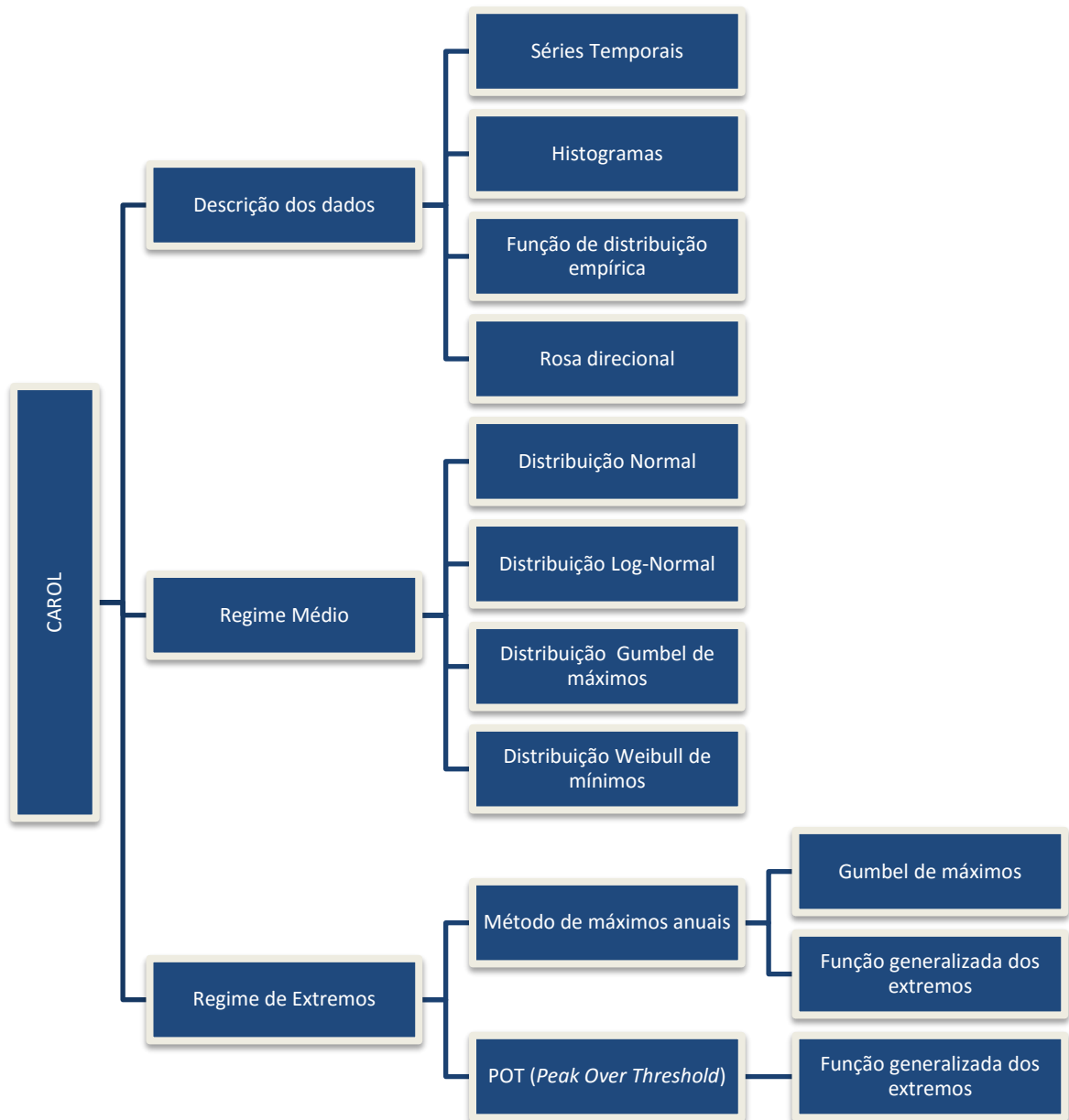


Figura 71 - Estrutura de cada módulo

Para executar o programa *Carol* é necessário criar um arquivo no formato “.dat”, o qual irá conter as informações da série temporal. A série temporal deverá conter as informações referentes ao período de ocorrência e às variáveis pretendidas para o estudo, neste caso as variáveis utilizadas foram a altura de onda, direção da onda, o período médio e o período de pico. Os parâmetros como a velocidade do vento, a direção do vento, marca astronómica e resíduos meteorológicos, não foram considerados nesta caracterização, considerando assim estes parâmetros com valor zero, Tabela 13.

Tabela 13 - Excerto da tabela das variáveis oceanográficas do Porto do Funchal

Ano	Mês	Dia	Hora	Minuto	Segundos	Velocidade do vento	Direção do vento	H _{M0} (m)	THTP1 (°)	TO2 (s)	T _P (s)	Marca astronómica	Resíduo meteorológico
2005	1	1	0	30	0	0	0	1,0	243	4,2	14,3	0,0	0,0
2005	1	1	3	0	0	0	0	0,9	250	4,1	13,3	0,0	0,0
2005	1	1	6	0	0	0	0	1,0	261	4,0	14,3	0,0	0,0
2005	1	1	9	0	0	0	0	1,0	119	4,4	5,5	0,0	0,0
2005	1	1	12	0	0	0	0	1,0	141	4,2	5,5	0,0	0,0
2005	1	1	15	0	0	0	0	1,0	256	4,5	13,3	0,0	0,0
2005	1	1	18	0	0	0	0	0,8	257	4,8	12,5	0,0	0,0
2005	1	1	21	0	0	0	0	0,9	263	4,4	12,5	0,0	0,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	12	31	0	0	0	0	0	1,1	277	6,1	9,1	0,0	0,0
2015	12	31	3	0	0	0	0	1,2	277	6,0	10,5	0,0	0,0
2015	12	31	6	0	0	0	0	1,3	279	6,3	10,0	0,0	0,0
2015	12	31	9	0	0	0	0	1,5	274	6,1	14,3	0,0	0,0
2015	12	31	12	0	0	0	0	1,3	268	6,6	14,3	0,0	0,0
2015	12	31	15	0	0	0	0	1,3	274	6,3	10,0	0,0	0,0
2015	12	31	18	0	0	0	0	1,3	267	6,8	13,3	0,0	0,0
2015	12	31	21	0	0	0	0	1,4	270	6,2	13,3	0,0	0,0

Expressões das funções de distribuição:

- Regime Médio
 - Distribuição Normal

A função de distribuição da variável aleatória x é:

$$y = F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu_n}{\sigma_n}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \int_{-\infty}^x \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - \mu_n}{\sigma_n}\right)^2\right] dx; -\infty < x < \infty \quad (\text{eq.49})$$

Onde:

μ_n - Média da distribuição normal;
 σ_n - Desvio padrão da distribuição normal.

- Distribuição Log-Normal

A função de distribuição da variável aleatória x da distribuição log-normal é:

$$y = F(x) = \Phi\left(\frac{\log(x) - \mu^*}{\sigma^*}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^*} \int_{-\infty}^x \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(x) - \mu^*}{\sigma^*}\right)^2\right] dx; -\infty < x < \infty \quad (\text{eq.50})$$

Onde:

μ^* - Média da distribuição normal inicial (parâmetro de localização);
 σ^* - Desvio padrão da distribuição normal inicial (parâmetro de escala).

- Distribuição Gumbel de máximos

A função de distribuição Gumbel de máximos da variável aleatória x é:

$$y = F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{(x - \lambda_G)}{\delta_G}\right)\right]; -\infty < x < \infty \quad (\text{eq.51})$$

Onde:

λ_G - Parâmetro de localização (modo de distribuição) de Gumbel;
 δ_G - Parâmetro de escala (proporcional ao desvio padrão) de Gumbel.

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2 \delta_G^2}{6}$$

- Distribuição Weibull de mínimos

A função de distribuição Weibull de mínimos da variável aleatória x é:

$$y = F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - \lambda_W}{\delta_W} \right)^{\beta_W} \right]; -\infty < x < \infty \quad (\text{eq.52})$$

Onde:

λ_W - Parâmetro de localização de Weibull (o menor valor possível da variável aleatória x);
 δ_W - Parâmetro de escala de Weibull;
 β_W - Parâmetro de forma de Weibull.

- Regime de extremos
 - GEV (*Gumbel Extreme Value distribution (reliability)*)

$$H(x; \mu, \xi, \Psi) = \exp \left\{ - \left(1 + \xi_{GEV} \frac{x - \mu_{GEV}}{\Psi_{GEV}} \right)^{-\frac{1}{\xi_{GEV}}} \right\} \quad (\text{eq.53})$$

Onde:

μ_{GEV} - Parâmetro de localização do regime de extremos GEV;
 ξ_{GEV} - Parâmetro de forma do regime de extremos GEV;
 Ψ_{GEV} - Parâmetro de escala do regime de extremos GEV.

- Gumbel de Máximos

$$H(x; \mu, \Psi) = \exp \left\{ - \exp \left[- \left(\frac{x - \mu_{RG}}{\Psi_{RG}} \right) \right] \right\} \quad (\text{eq.54})$$

Onde:

μ_{RG} - Parâmetro de localização do regime de extremos de Gumbel de máximos;
 Ψ_{RG} - Parâmetro de escala do regime de extremos de Gumbel de máximos.

- POT (*Peak Over Threshold*)

$$G(y; \sigma, \xi) = 1 - \left(1 + \frac{\xi_{POT} y}{\sigma_{POT}} \right)^{-\frac{1}{\xi_{POT}}} \quad (\text{eq.55})$$

Onde:

σ_{Pot} - Parâmetro de escala do regime de extremos POT;

ξ_{POT} - Parâmetro de forma do regime de extremos POT.

Tabela 14 - Funções de distribuição da altura de onda significativa do Porto do Funchal

Regime Médio	Distribuição Normal	$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi * 1.089}} \int_{-\infty}^x \frac{1}{x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - 1.297}{1.089} \right)^2 \right] dx$
	Distribuição Log-Normal	$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi * 0.54}} \int_{-\infty}^x \frac{1}{x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(x) - 0.028}{0.54} \right)^2 \right] dx$
	Distribuição Gumbel de máximos	$F(x) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{(x - 0.902)}{0.6169} \right) \right]$
	Distribuição Weibull de mínimos	$F(x) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{x - 0.19}{1.401} \right)^{1.925} \right]$
Regime de Extremos	GEV	$H(x; \mu, \xi, \Psi) = \exp \left\{ -\left(1 - 1 \frac{x - 3.991}{1.909} \right)^1 \right\}$
	Gumbel de máximos	$H(x; \mu, \Psi) = \exp \left\{ -\exp \left[-\left(\frac{x - 3.127}{1.904} \right) \right] \right\}$
	POT	$G(y; \sigma, \xi) = 1 - \left(1 + \frac{-1 * y}{0.546} \right)^1$

A representação gráfica de cada uma das funções de distribuição da altura de onda significativa, bem como as estatísticas descritivas dos dados do Porto do Funchal encontram-se no Anexo I.

4.1.4. Mopla

O programa *Mopla* é um modelo numérico que possibilita efetuar um estudo morfodinâmico de uma costa. Simula a propagação das ondas desde a profundidade até à linha de costa, durante um período de tempo indeterminado, fator de extrema importância para analisar a propagação das ondas, por forma a determinar as condições a que as estruturas portuárias estarão expostas.

4.1.4.1. Modelação

Antes de iniciar a modelação no programa *Mopla* é necessário efetuar um ficheiro no formato “.xyz”, o qual é constituído pelas coordenadas xyz da batimetria do local. A batimetria do Porto do Funchal foi disponibilizada pela Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira

(APRAM) no formato “.dwg”, ver Figura 72. Com o auxílio do comando “DATAEXTRACTION” do programa AutoCad é possível estabelecer as coordenadas da batimetria.

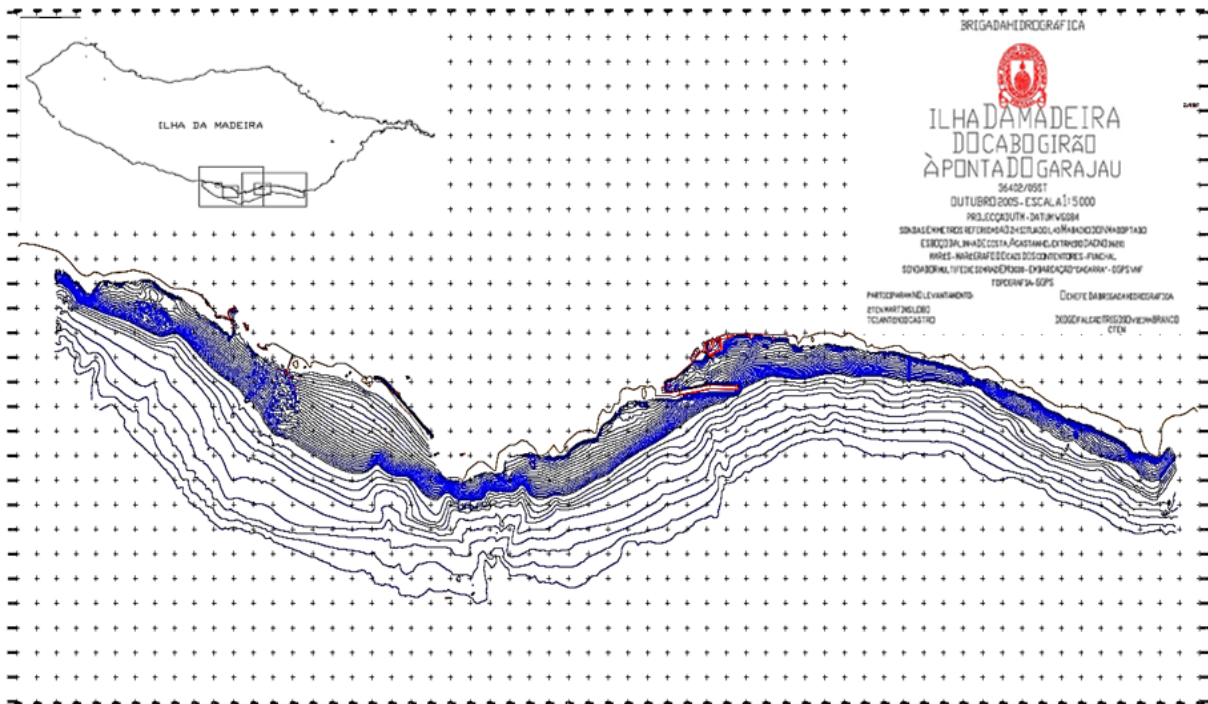


Figura 72 - Batimetria do Funchal

Na execução do comando “DATAEXTRACTION” abre-se uma janela com uma serie de oito passos. No passo 1 seleciona-se o comando criar uma nova extração; no passo 2 selecionamos os objetos, dos quais pretendemos extrair as coordenadas, Figura 73.

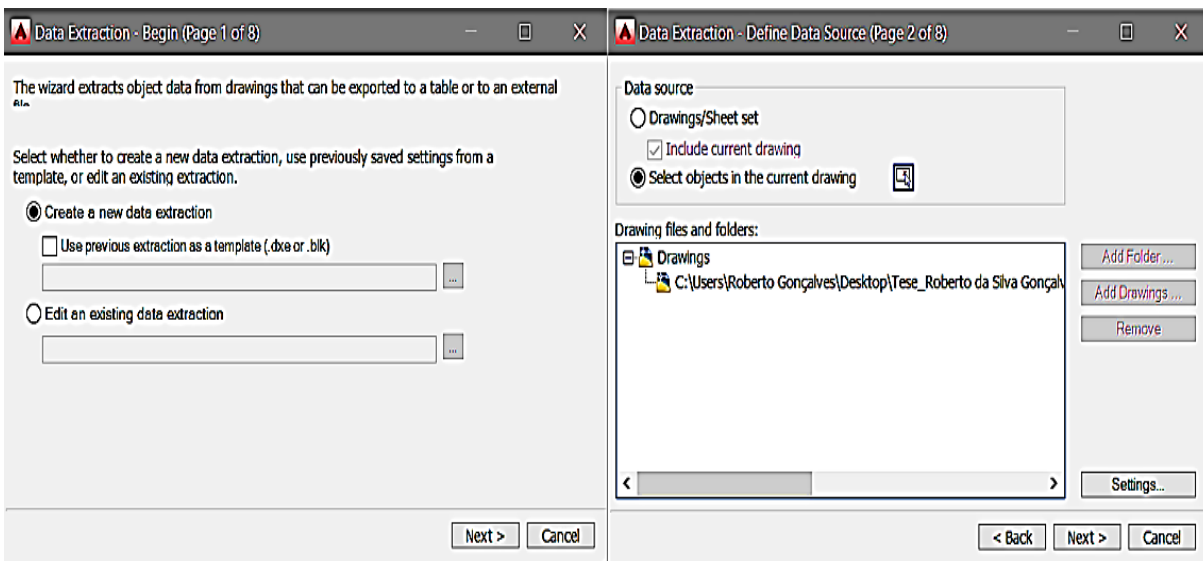


Figura 73 - Passo 1 e 2 - DATAEXTRACTION

Os passos 3 e 4 consistem em definir quais os parâmetros que pretendemos obter, neste caso necessita-se apenas das características geométricas, Figura 74.

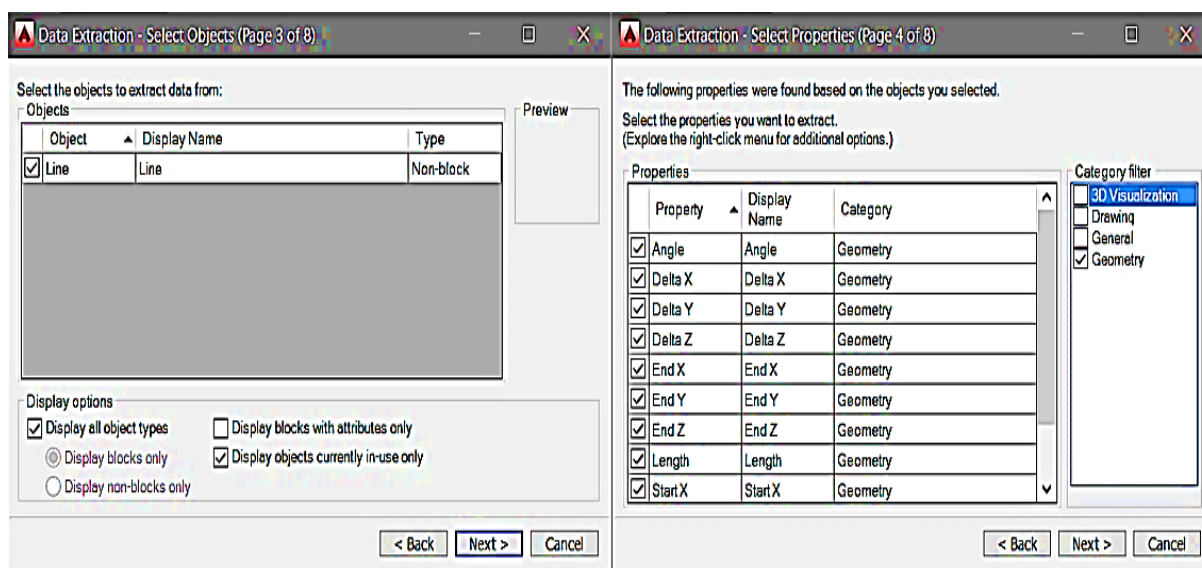


Figura 74 - Passo 3 e 4 - DATAEXTRACTION

Depois de verificar as características obtidas no passo 5, os passos seguintes tem a finalidade de guardar no formato que pretendemos e no local desejado, Figura 75.

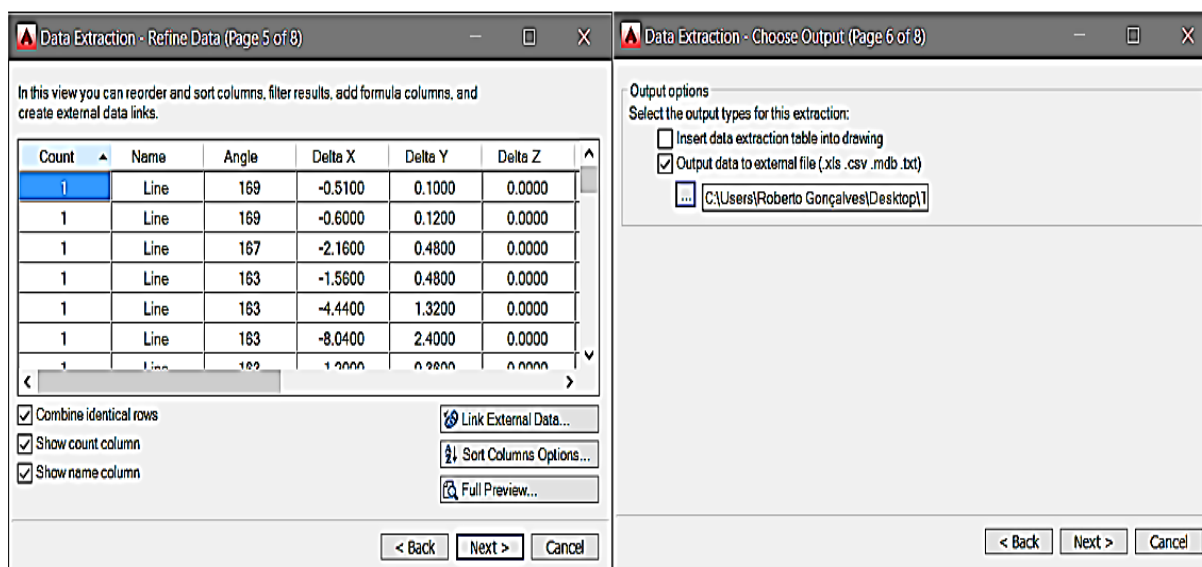


Figura 75 - Passo 5 e 6 - DATAEXTRACTION

Por forma a obter o maior número de coordenadas da batimetria efetua-se este comando por cada linha isobatimétrica. As linhas isobatimétricas são linhas que unem pontos com a mesma profundidade, logo as mesmas equidistâncias verticais. A batimetria fornecida pela APRAM

apresenta profundidades entre os 0.0 m e os 100.0 m, tendo sido desenvolvidas da seguinte forma:

- Entre os 0.0 m e 30.0 m de profundidade são desenvolvidas de 1.0 m em 1.0 m;
- Entre os 30.0 e 50.0 m de profundidade são desenvolvidas de 5.0 m em 5.0 m;
- Entre os 50.0 e 100.0 m de profundidade são desenvolvidas de 10.0 m em 10.0 m.

Apos compilar a informação referente à batimetria executamos o programa *Mopla*. Após abrir o programa e aparecer a janela principal é necessário carregar a batimetria. Na barra do menu selecciona-se a opção “Arquivo” - “Abrir Batimetria”. Ao executar estes passos abre-se a seguinte caixa de diálogo, conforme a Figura 76 e, com o auxílio do programa Surfer, é criada a batimetria.

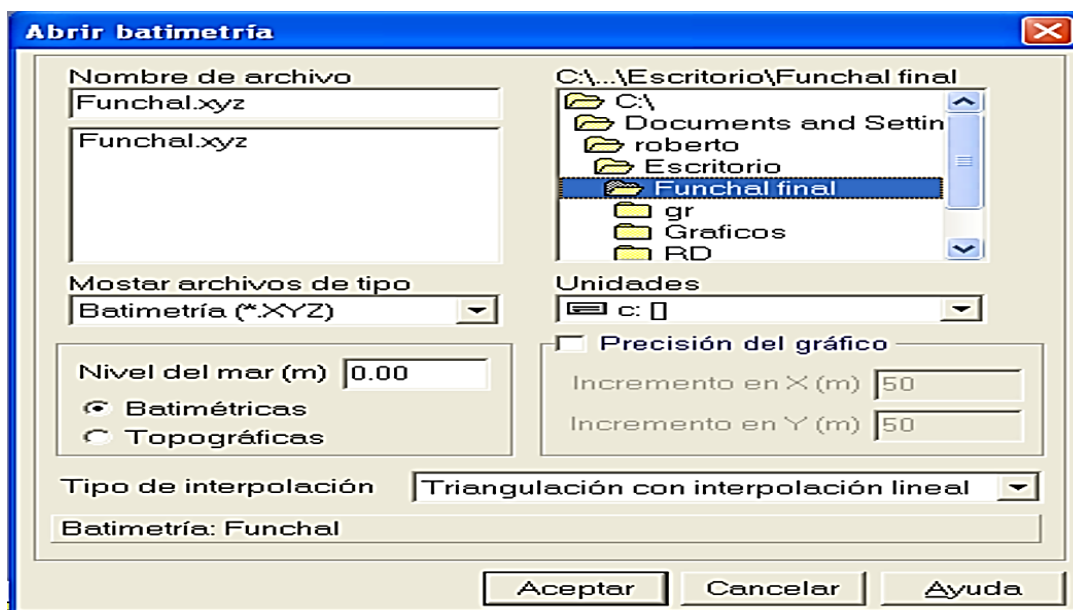


Figura 76 - Mopla - Batimetria do Funchal

Por forma a obter uma melhor discretização da batimetria aumenta-se a precisão do gráfico, através do menu “Arquivo” - “Editar Níveis”, aumentando a precisão para 20.0 m e utiliza-se o método de interpolação triangular, Figura 77.

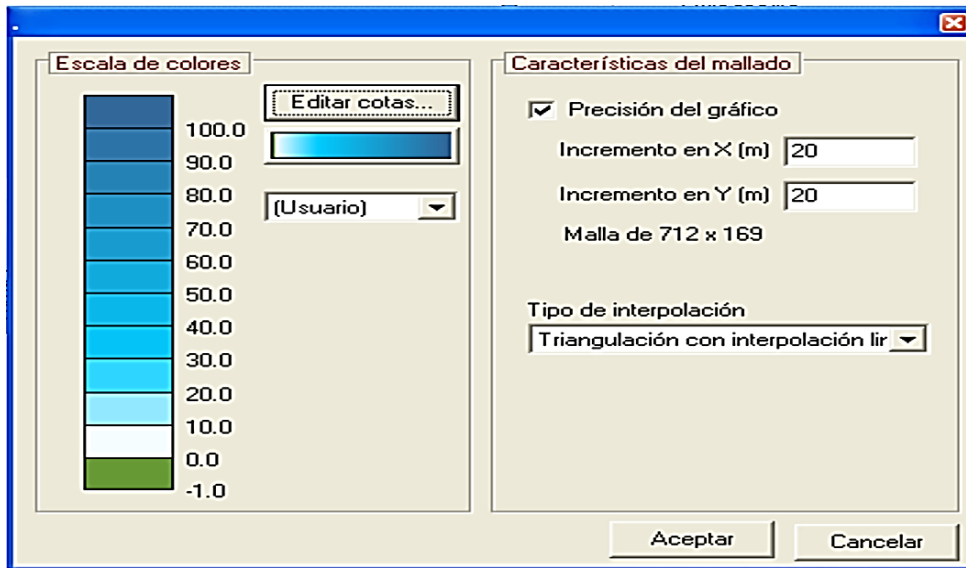


Figura 77 - Mopla - Caracterização da malha

Antes de qualquer outra ação é necessário definir a direção do Norte (N) correspondente ao enquadramento do local em estudo, conforme a Figura 78.

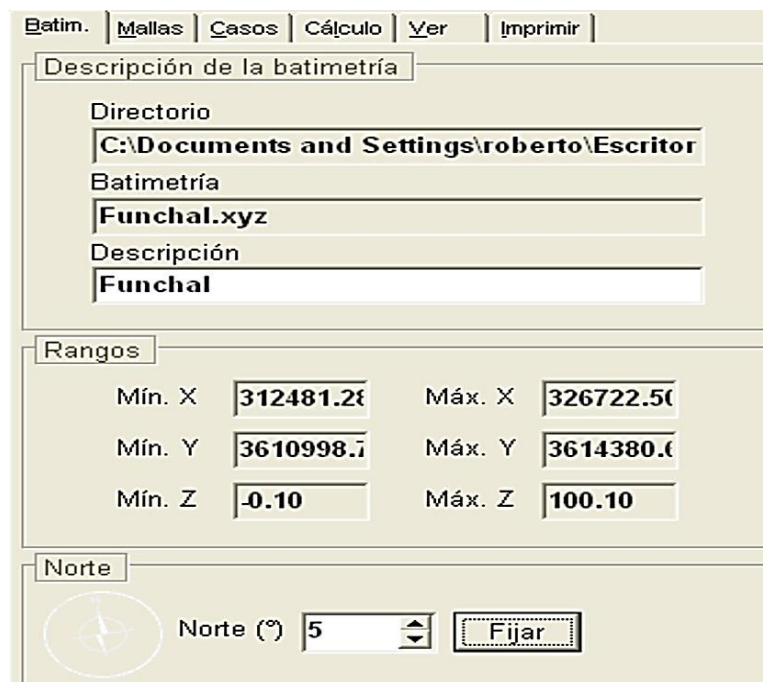


Figura 78 - Mopla - Fixar o Norte (N) (Funchal)

O segundo passo consiste em gerar uma malha, na qual se irão realizar as diversas simulações. No menu “MALHA” selecionamos a opção criar malha, desenhamos um retângulo sobre a batimetria em relação à qual pretendemos efetuar as diversas simulações. Depois de criada a malha é necessário definir uma chave de identificação, ver Figura 79.



Figura 79 - Mopla - Chave de identificação

Posteriormente definimos a geometria da malha, a sua origem, as suas dimensões, o número de divisórias e o espaçamento entre as divisões (ver Figura 80 e Figura 81).

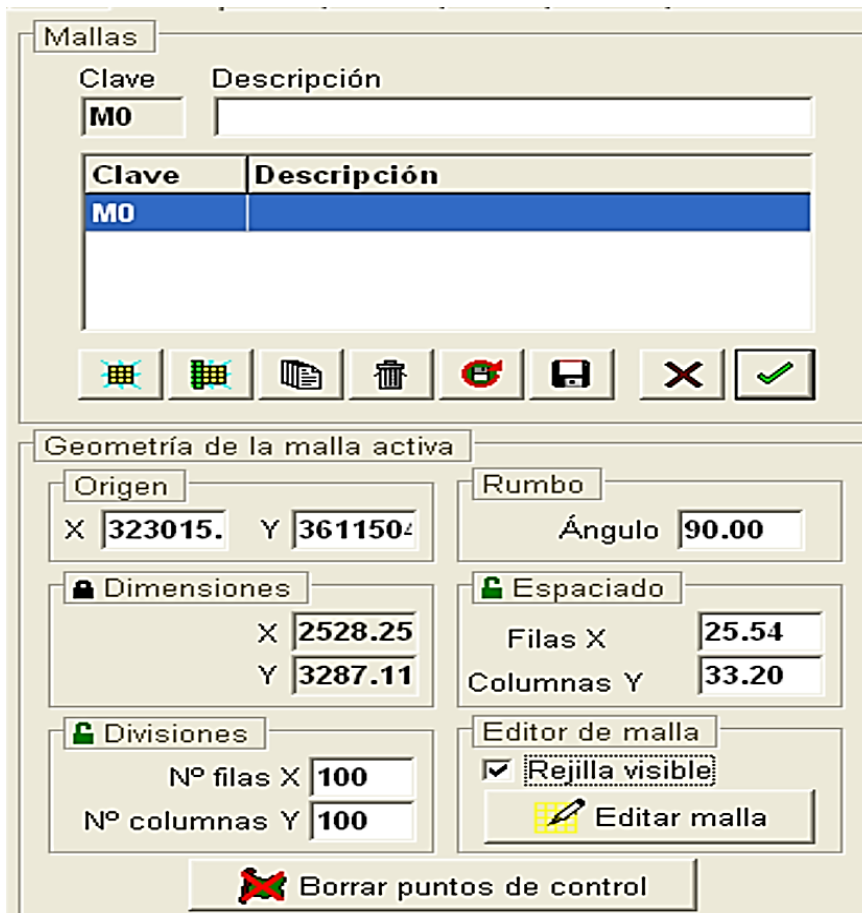


Figura 80 - Mopla - Geometria da malha

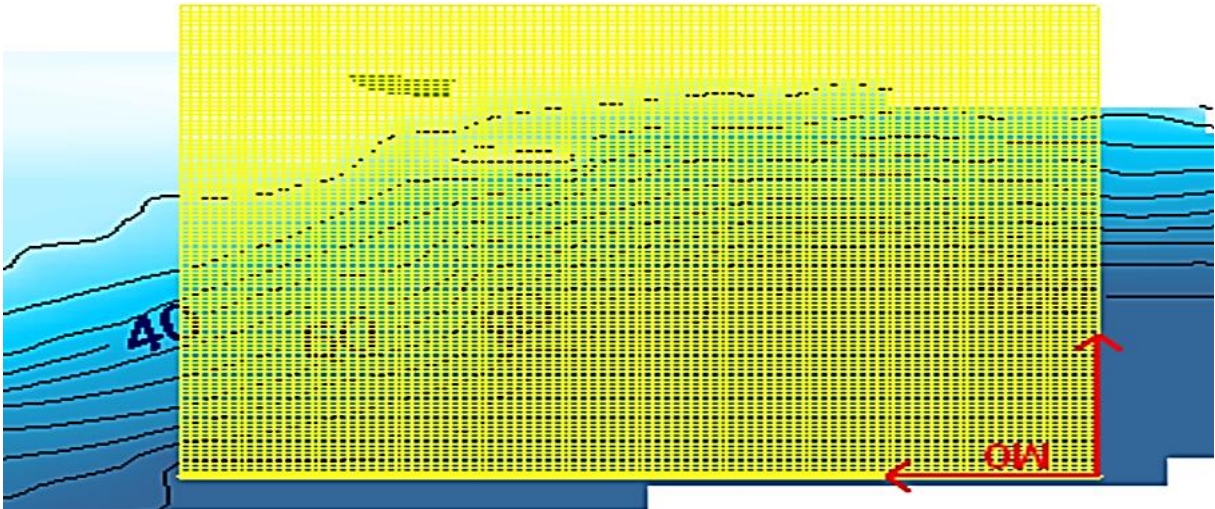


Figura 81 - Malha do Porto do Funchal

O terceiro passo consiste em definir os diversos casos que poderão ocorrer no local, para isso carregamos em criar caso e definimos uma chave de identificação; posteriormente selecionamos o tipo de propagação que queremos, neste caso será propagação de onda (ver Figura 82).



Figura 82 - Mopla - Casos

Por forma a definir as situações selecionamos a opção “Dinâmica” - “Ondas”, definindo assim a altura de onda que poderá ocorrer, em que direção, o seu período e a altura da maré, conforme a Figura 83.



Figura 83 - Mopla - Características da onda

Depois de definidos os diversos casos que pretendemos analisar, selecionamos na barra menu a opção “Calcular”. Nesta página adicionamos os casos um a um, por fim clicamos no botão calcular. Após executados os modelos numéricos é possível consultar os resultados obtidos.

4.1.4.2. Análise

A maré na RAM é do tipo semidiurno. De acordo com a tabela de marés para 2016, publicada pelo Instituto Hidrográfico (IH) (Anexo I). Tendo em conta a subida do nível médio do mar é necessário um acréscimo de 0.1 m, sendo os seguintes níveis de maré astronómica a considerar:

- PM máx: + 2.74
- PM AV: + 2.45
- PM AM: + 1.87
- NM: + 1.40
- BM AM: + 0.94
- BM AV: + 0.36
- BM min: + 0.07

A partir da análise efetuada no capítulo relativo ao Clima Marítimo foi possível determinar os conjuntos de condições a que os portos estão sujeitos. Para cada um dos portos foram definidas as três direções de ondas a que estes estiveram mais expostos e o período de pico em que ocorreu a maior altura de onda.

A altura de onda foi definida através da análise probabilística para um período de retorno de 100 anos. Segundo estes fatores foram definidos os diversos casos a analisar em cada um dos portos, nomeadamente o Porto do Funchal (Tabela 15), o Porto do Caniçal (Tabela 16) e o Porto do Porto Moniz (Tabela 17).

Tabela 15 - Casos analisados para o Porto do Funchal

Porto do Funchal					
Malha	Direção	Casos	T_p (s)	Mare	H_s (m)
M0	W	A1	16	PM +2.74	7.3
		A2	16	BM +0.07	7.3
	S	B1	16	PM +2.74	7.3
		B2	16	BM +0.07	7.3
	E	C1	16	PM +2.74	7.3
		C2	16	BM +0.07	7.3

Tabela 16 - Casos analisados para o Porto do Caniçal

Porto do Caniçal					
Malha	Direção	Casos	T_p (s)	Mare	H_s (m)
M1	S	D1	10	PM +2.74	4.4
		D2	10	BM +0.07	4.4
	ESE	E1	10	PM +2.74	4.4
		E2	10	BM +0.07	4.4
	SW	F1	10	PM +2.74	4.4
		F2	10	BM +0.07	4.4

Tabela 17 - Casos analisados para o Porto do Porto Moniz

Porto do Porto Moniz					
Malha	Direção	Casos	T_p (s)	Mare	H_s (m)
M2	N	G1	16	PM +2.74	5.4
		G2	16	BM +0.07	5.4
	NW	H1	16	PM +2.74	5.4
		H2	16	BM +0.07	5.4
	W	I1	16	PM +2.74	5.4
		I2	16	BM +0.07	5.4
	NE	J1	16	PM +2.74	5.4
		J2	16	BM +0.07	5.4

A análise da propagação das ondas no Porto do Porto Santo não foi executada em virtude da identidade responsável, a APRAM, não possuir a batimetria do respetivo porto e, também, porque os dados obtidos pela boia ondógrafo não permitem caracterizar a agitação marítima a que o porto está sujeito devido à deficiente localização da mesma.

4.2. RESULTADOS

Neste subcapítulo expõem-se os resultados decorrentes do estudo da propagação de ondas efetuado no programa *Mopla* para o Porto do Funchal, Tabela 18, os restantes portos estudados, nomeadamente o Porto do Caniçal, Porto do Porto Moniz, seguem o mesmo procedimento, por isso são remetidos para os Anexos II e III respetivamente.

Os resultados obtidos no Porto do Funchal através do programa *Mopla* encontram-se representados na Tabela 18 por forma a caracterizar a altura de onda que ocorre neste porto, este foi dividido em duas zonas, Cais Norte e Cais Sul. As coordenadas (x,y,z) representativas do local onde ocorrem as maiores alturas de onda no porto encontram-se descritas na coluna das coordenadas. Para os vários casos estudados, discriminados anteriormente na Tabela 15, verifica-se que, para uma altura de onda significativa de 7.3 m, para um período de retorno de 100 anos e um período de pico de 16 s, as alturas de onda para o dimensionamento da estrutura portuária obrigam à mesma a possuir uma altura superior a 9.0 m, conforme a Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados obtidos para o Porto do Funchal

Malha	Cais	Coordenadas	Altura de onda					
			A1	A2	B1	B2	C1	C2
M0	Cais Norte (N)	321056.44 3613598.56 - 4.47	6.0	4.0	6.1	3.9	6.1	3.8
		320990.03 3613573.02 - 5.39	5.9	4.7	6.6	4.6	5.7	4.6
		320956.83 3613547.48 - 5.47	5.4	4.5	6.9	5.1	5.1	4.9
		320724.41 3613470.87 - 3.79	5.0	4.0	6.1	4.0	7.2	4.9
		320757.61 3613496.41 - 5.39	5.0	3.9	5.8	3.9	7.1	5.1
	Cais Sul (S)	320093.55 3613087.80 - 7.88	8.2	6.6	8.1	6.7	7.8	6.1
		320990.03 3613138.88 - 3.61	7.0	7.2	8.1	7.6	7.4	7.4
		320658.00 3613138.88 - 6.01	6.6	6.6	8.6	8.6	7.6	7.6
		321122.85 3613164.42 - 2.14	6.2	4.8	8.1	5.6	9.1	5.8
		321089.64 3613138.88 - 5.38	6.7	6.6	8.0	8.3	8.2	8.4

Seguidamente apresentam-se os gráficos obtidos através do programa *Mopla*, no estudo da malha M0 e o caso C1, correspondendo à chave de identificação referida anteriormente no subcapítulo 4.1.4, representando a situação mais gravosa no Porto do Funchal, tanto no Cais Norte como no Cais Sul.

O Porto do Funchal encontra-se referenciado na Figura 84, entre as coordenadas 1500 a 2400 no eixo das abcissas e 1800 a 2600 no eixo das ordenadas. O Cais Norte encontra-se disposto entre as coordenadas 2000 a 2400 no eixo dos x e o Cais Sul entre as coordenadas 1500 a 1800, coordenadas essas que correspondem aos restantes elementos representativos do estudo do Porto do Funchal.

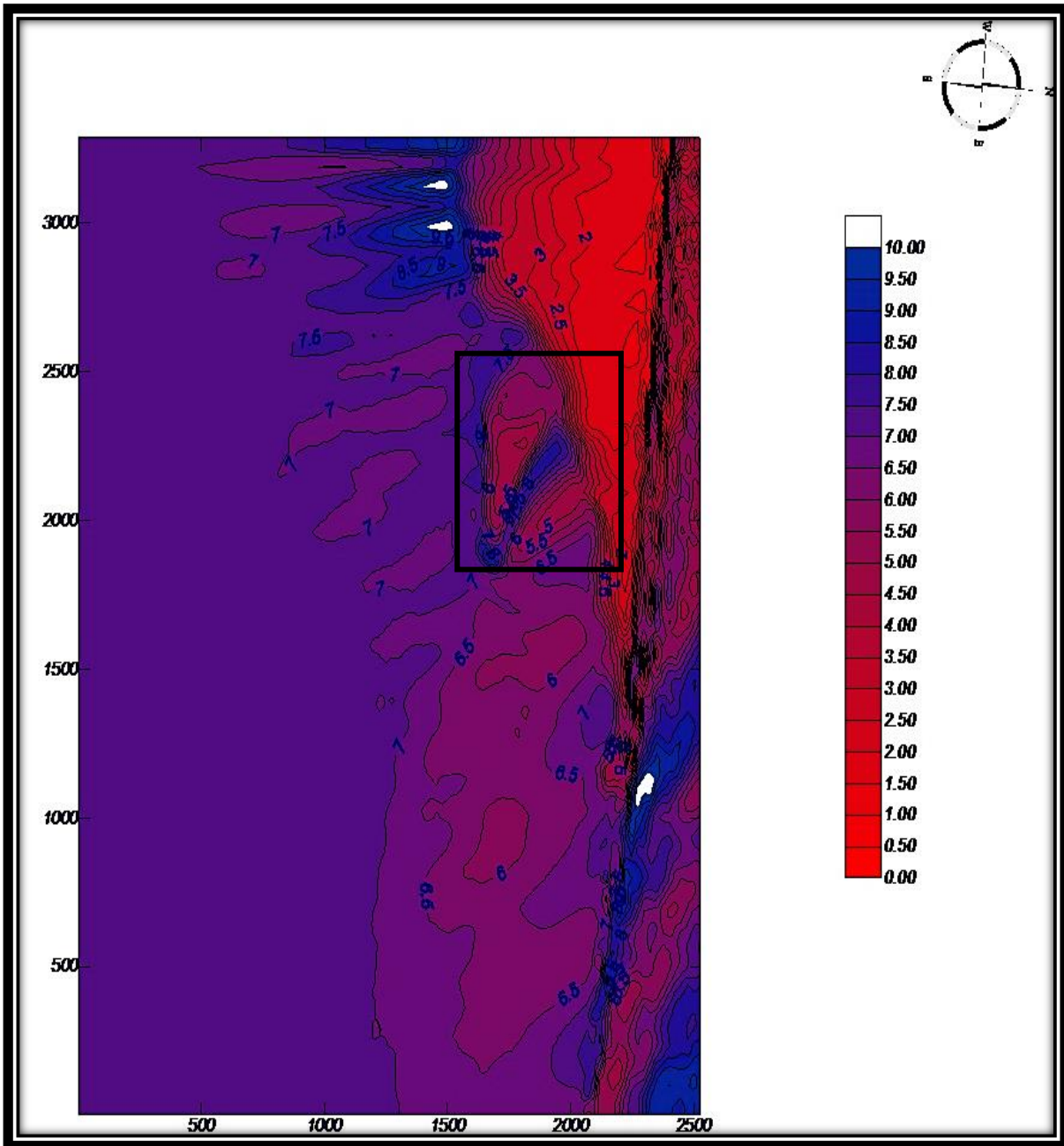


Figura 84 - Altura de onda, caso M0 - C1

A Figura 84 representa as alturas de onda que ocorrem segundo a propagação das ondas ao longo da costa do Funchal no caso M0-C1, sendo estas originárias do quadrante Este. Podendo observar-se que a altura de onda vai variando conforme esta se aproxima da costa, devido à morfologia da zona em questão e à redução progressiva da profundidade, sendo estes os principais fatores que afetam a propagação das ondas.

O Cais Norte encontra-se exposto ao longo da sua extensão a ondulação entre os 4.0 m e o 5.0 m, com exceção de uma pequena fração na qual está sujeito a ondulação de maiores dimensões, entre os 6.0 m e os 7.0 m.

O Cais Sul por sua vez encontra-se mais exposto em comparação ao Cais Norte, apresentando ondulação a variar entre os 7.0 m e os 9.0 m.

Na Figura 85 apresenta-se a propagação das alturas de onda ao longo da costa do Funchal. Verificando-se que quando estas embatem na costa geram o surgimento de uma refração da referida onda. Esta propagação varia consoante a origem da ondulação, neste caso surge de Este. Apesar da ondulação de Este ser menos frequente de ocorrer, é nesta direção que surgem as maior alturas de onda a que o Porto do Funchal esta sujeito.

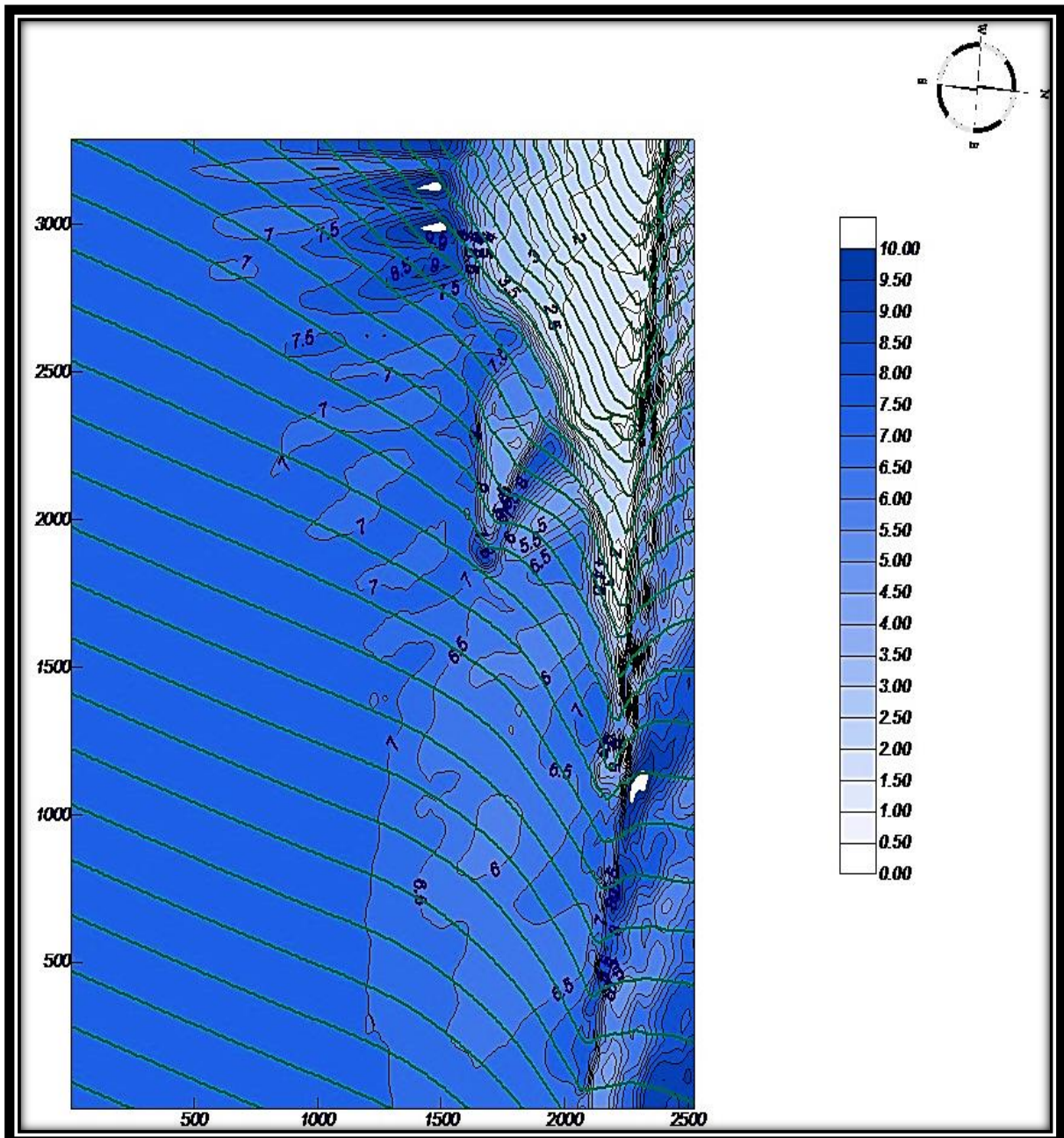


Figura 85 - Propagação da altura de onda, caso M0 - C1

A Figura 86 exibe-se a direção de propagação ao longo da batimetria do Funchal. A onda ao embater sobre a costa a uma profundidade entre os -0.1 m e os 5.0 m sofre uma alteração de direção, o que se comprova com a representação das setas com direções opostas na zona em branco da referida figura.

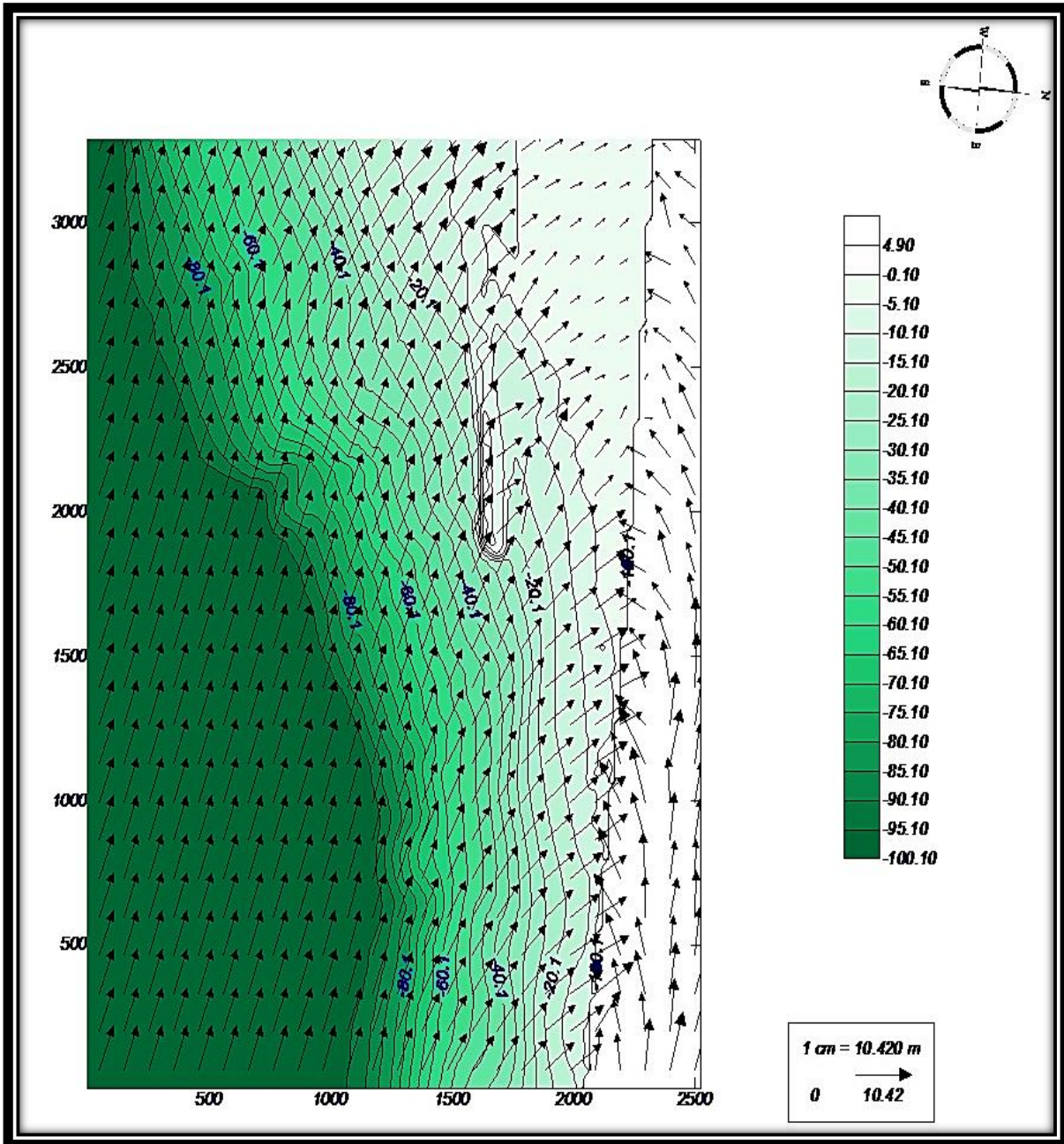


Figura 86 - Direção da onda, caso M0 - C1

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. ANÁLISE DE RESULTADOS

O principal foco desta dissertação é a caracterização e simulação da propagação da agitação marítima, aplicada a estruturas portuárias da RAM, tendo sido possíveis de executar de um modo satisfatório, podendo concluir-se as principais características que se evidenciam e em cada um dos locais em estudo.

▪ Funchal

O Porto do Funchal encontra-se localizado na Costa Sul (S) da Ilha da Madeira, estando exposto à agitação marítima predominantemente do quadrante Sudoeste (SW), com cerca de 56.0% do seu tempo a ocorrer nesta direção, no restante período de tempo este é afetado com ondulação do quadrante Sul em 23.0% e cerca de 20.0% do quadrante Sudeste (SE).

A nível dos registos efetuados pela boia ondógrafo do Funchal verifica-se que as maiores alturas de onda ocorridas encontram-se entre valores superiores a 5.5 m e os 6.0 m, tendo sucedido em 0.04% dos registos.

As alturas de onda surgidas na maior parte do seu tempo variam entre valores inferiores a 0.5 m e os 2.5 m, registada em 92.0% do tempo. A agitação marítima caracteriza-se por um regime médio anual relativamente moderado. Num regime estacional conclui-se que a maior agitação marítima surge no inverno e na primavera, tendo sido registada a maior altura de onda nesta última estação.

Tendo em consideração a batimetria, a morfologia que rodeia o Porto do Funchal e para um período de retorno de 100 anos, este poderá estar exposto às seguintes alturas de onda:

- No Cais Sul surgirá do quadrante Sudoeste ondas de 8.2 m, de Sul ondulação com cerca de 8.6 m e de Sudeste as ondas alcançarão os 9.1 m, sendo esta a pior situação verificada;
- O Cais Norte (N) encontrar-se-á exposto predominantemente a ondulação de Sudeste, onde ocorrerá agitação marítima com cerca de 7.2 m, sendo a situação mais desfavorável que poderá surgir na estrutura portuária.

Apesar de incidir com maior frequência a ondulação de Sudoeste, a situação que poderá surgir com maior gravidade é de Sudeste, sendo uma situação a ter em conta no dimensionamento da estrutura portuária.

▪ Caniçal

No Porto Comercial da Região, Porto do Caniçal, a agitação marítima verificada surge das seguintes direções: Sudoeste, Sul e Sudeste, tendo uma maior incidência de Sul, pois foi registado em cerca de metade do seu tempo esta direção.

Segundo os registos efetuados as maiores alturas de onda encontram-se no intervalo de valores entre os 4.0 m e os 5.0 m, tendo surgido em duas ocasiões em 14616 registos efetuados.

A ondulação predominante no Caniçal varia entre os valores inferiores a 0.5 m e os 2.5 m surgindo em 99% do seu tempo, tratando-se de uma agitação marítima anual moderada. A nível estacional é de salientar que o período de maior agitação marítima surge no inverno, tendo sido registado a maior altura de onda nesta estação.

Referentemente ao estudo efetuado sobre a propagação de onda que deverá ter-se em linha de conta no Porto do Caniçal será de 6.9 m surgindo de Sudeste, tendo sido a maior altura de onda obtida. Nas restantes direções a que o porto está sujeito, surge de Sul ondas de 6.5 m e de Sudoeste ondas com 5.7 m.

Apesar dos poucos registos efetuados no Porto Moniz e no Porto Santo, devido à inoperacionalidade das boias ondógrafo, foi efetuada a respetiva caracterização dos locais em questão.

- Porto Moniz

O Porto do Porto Moniz localiza-se na Costa Norte da Ilha da Madeira, estando este sujeito a agitação marítima proveniente de Norte, Noroeste (NW) e Nordeste (NE), exposto na maior parte do tempo, a ondulação de Norte, ocorrida em 54.0% do tempo, de seguida surge Noroeste com aproximadamente 43.0%.

As maiores alturas de onda registadas encontram-se no intervalo de valores entre os 4.5 m e os 5.0 m, verificado em cerca de 3.0% das vezes. A agitação marítima neste local poderá ser considerada no regime médio anual moderado a alto, pois as alturas de onda predominantes surgem com valores no intervalo entre os 2.5 m e os 5.0 m, ocorrido em cerca de 58.0% do tempo.

A nível da propagação das ondas a ter em atenção no Porto do Porto Moniz é a que surge de Noroeste com ondas de 8.9 m que se torna preponderante, a ondulação de Norte aparece com ondas de 6.8 m e a de Nordeste ocorre com 7.8 m. Pode-se verificar que apesar dos poucos registos obtidos por parte das boias conclui-se que a Costa Norte da Ilha da Madeira está sujeita a condições marítimas desfavoráveis em comparação à Costa Sul, é de ressaltar que o Porto em questão é de menor importância económica/turística do que o Porto do Funchal e o Porto do Caniçal.

- Porto Santo

Devido à localização da boia ondógrafo do Porto Santo os registos efetuados tem origem em condições marítimas provenientes do Hemisfério Norte. Dado este facto foi efetuada a

caracterização da Costa Norte da Ilha do Porto Santo, não sendo possível efetuar uma análise às condições a que o porto está sujeito na Costa Sul da Ilha.

A Costa Norte do Porto Santo está exposta a agitação marítima de Norte e Nordeste, sendo predominantemente de Norte com 62,0% de ocorrência.

O Porto Santo mesmo apresentando condições marítimas anuais moderadas, com ondulação a variar no intervalo de valores entre os 0.5 m a 2.5 m, este também apresenta uma grande quantidade de registos de ondulação alta, daí poder-se considerar uma agitação marítima moderada a alta.

As condições estacionais não apresentam alterações entre as várias estações, sendo somente de salientar que no período de verão as condições marítimas que surgem são predominantemente baixas, variando entre 1.0 m e os 2.5 m, na primavera a ondulação que ocorre na maior parte das vezes é entre 1.0 m e os 2.5 m, tendo sido registado um maior número de alturas de ondas superiores a 2.5 m, em comparação às restantes estações, verificando-se pequenas oscilações.

5.2. SITUAÇÕES ANÓMALAS

Os principais aspetos que dificultaram e que foram detetados na realização desta dissertação estão relacionados com a pouca investigação e domínio da orla marítima da RAM.

Um dos aspetos a salientar são os longos períodos de inoperacionalidade das boias ondógrafos, por exemplo, os últimos registos efetuados pela boia localizada no Caniçal foram efetuados em 2012, só voltando a serem realizadas as monitorizações no início do ano de 2016, verificando-se um período de quatro anos sem realização de registos.

Por sua vez na Costa Norte, nomeadamente no Porto Moniz e na Ilha do Porto Santo, não são efetuados registos desde 2012 e 2013, respetivamente.

Ao nível da boia do Porto Santo esta não se encontra numa localização muito favorável, pois situa-se numa posição onde é afetada por correntes do Hemisfério Norte e do Hemisfério Sul, daí não ser possível retirar muitas relações dos registos efetuados.

Outra das situações a referir é a falta/omissão do levantamento batimétrico detalhado da Ilha do Porto Santo, só sendo efetuado no interior do porto através de processos de dragagem do mesmo. Em relação ao levantamento batimétrico do Funchal, Caniçal e Porto Moniz este foi efetuado no ano de 2005, não existindo registo de novos levantamentos dos locais em questão, mesmo com as novas alterações a que o Porto do Funchal esteve sujeito.

Nomeadamente um dos aspetos a salientar é a grande inoperacionalidade do Cais Norte do Funchal, pois este encontra-se exposto, sem qualquer tipo de proteção da agitação marítima originária de Sul e de Sudeste.

5.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo indicam-se alguns aspetos a melhorar, caso se pretenda continuar a desenvolver um estudo semelhante:

- O principal aspeto a referir é a continuação e otimização da monitorização efetuada ao longo da costa na RAM, por forma a obter uma caracterização mais precisa da mesma;
- Otimizar as folhas de cálculo desenvolvidas ao longo da realização desta dissertação;
- Modelação e interação entre as alturas de onda e as estruturas portuárias, por forma a minimizar os erros efetuados ao longo destes anos (passado recente);
- Metodologias de dimensionamento, execução (soluções construtivas) e fiscalização de Obras Marítimas (estruturas portuárias). Aplicação a caso de estudo na RAM.

BIBLIOGRAFIA

- Afonso, L. d. (2011). *Estudo Numérico do Galgamento de Estruturas de Protecção Costeira*.
Araujo, A. (22 de 2 de 2016). Obtido de <http://web.lettras.up.pt/asaraujo/seminario/Aula3.htm>)
Araújo, M. d. (s.d.). *Programa da disciplina de Geomorfologia Litoral*.
Barra, J. C. (s.d.). *Interação entre ondas guiadas e defeitos em placas compósitas laminadas*.
Cazzoli, S. (2008). *Ondas*.
Correntes marítimas. (24 de fevereiro de 2016). Obtido de Planeta Água:
<https://sites.google.com/site/pensenissoceanos/correntes-maritimas>
Cunha, P. J. (2009). *Dimensionamento otimizado de quebra-mares de taludes*.
Cunha, P., & Pinto, F. T. (2010). *Dimensionamento otimizado de quebra-mares de taludes*.
Department of Meteorology, University of Utah, Salt Lake City, Utah. (1973). *An analysis of
wave structure near center of maximum turbulent kinetic energy*.
Department of the Army. (1984). *Shore Protection Manual*.
Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. (1984). *Shore
Protection Manual*.
Didier, E., & Neves, M. d. (2010). *Modelação de estruturas marítimas usando um modelo
numérico Smoothed Particle Hydrodynamics*.
FEDERATION OF AMERICAN SCIENTISTS. (22 de fevereiro de 2016). FAS. Obtido de FAS:
<http://fas.org/man/dod-101/navy/docs/swos/cmd/xpd/SP6-2-8/sld010.htm>
Frens, A. B. (2007). *The impact of placement method on Antifer-block stability*.
funchalnoticias.ne. (27 de junho de 2016). Obtido de
[https://funchalnoticias.net/2016/03/23/lido-recupera-acesso-ao-mar-por-dois-milhoes-
de-euros/](https://funchalnoticias.net/2016/03/23/lido-recupera-acesso-ao-mar-por-dois-milhoes-de-euros/).
http://en.lifecooler.com. (27 de junho de 2016). Obtido de
http://en.lifecooler.com/lifecooleren/imgartigos/CVP_A3805.jpg.
http://portal-services.netmadeira.com. (27 de junho de 2016). Obtido de [http://portal-
services.netmadeira.com/images/news/dn_madeira/373464.jpg](http://portal-
services.netmadeira.com/images/news/dn_madeira/373464.jpg).
http://www.madeira-web.com. (27 de junho de 2016). Obtido de [http://www.madeira-
web.com/index.php?option=com_swggallery&full_image=1&lang=PagesP&location=Li
do_Promenade&page_name=lido_promenade08&Itemid=440](http://www.madeira-
web.com/index.php?option=com_swggallery&full_image=1&lang=PagesP&location=Li
do_Promenade&page_name=lido_promenade08&Itemid=440).
Instituto Hidrográfico. (2011). *Actas das 1.ª Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. Instituto
Hidrográfico.
Instituto Hidrográfico. (2016). *Tabelas de Marés*.
Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2004). *Caracterização Climática da Costa*.
Journal of Integrated Coastal Zone Management. (22 de fevereiro de 2016). *GESTÃO
COSTEIRA INTEGRADA*. Obtido de *GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA*:
<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/refracciaoonda.html>
Lima, M. (2011). *PROGRAMAÇÃO DE MÉTODOS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE
OBRAS COSTEIRAS*.
Lopes, H. G., Pinto, F. T., Gomes, F. V., & Sanchez, R. M. (2010). *Técnicas de processamento
de imagem vídeo para análise da interação onda-estrutura entre quebra-mares
destacados e estruturas portuárias*.
Lopes, J. E. (2012). *Estudo de escoamentos de ondas e correntes*.
Lousada, S. A. (2014). *Apontamentos da Unidade Curricular de Obras Marítimas e Fluviais do
Mestrado em Engenharia Civil*. Funchal, Madeira: Universidade da Madeira.
Marinha - Portugal. (24 de fevereiro de 2016). *Hidrográfico*. Obtido de Hidrográfico:
<http://www.hidrografico.pt/>
Martins, A. J. (2012). *Análise da rebentação de ondas com ensaios em laboratório*.

- Martins, C. M., Mendes, M. d., Abreu, J. M., Almeida, J. P., Lima, J. P., & Lima, I. P. (2010). *Hidrologia urbana Conceitos BÁSICOS*.
- Ministerio da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. (2011). *Relatorio de Diagnóstico e Fundamentação Técnica da Proposta de POEM*.
- Neves, J. Z. (2013). *Quebramares Portugueses (Madeira e Porto Santo). Inventário e análise comparativa de soluções*.
- Parise, C. K. (2010). *Estudo da variabilidade de ondas no Oceano Atlântico Sul e a contribuição energética de um ciclone extratropical intenso nos espectros das ondas ao largo do rio grande do sul*.
- Patricio, T. M. (2012). *Modelação numérica do galgamento de quebra-mares de talude*.
- Peng, W. (2009). *Modeling and Simulation of Interactions Between Blast Wave and Structures for Blast wave mitigation*.
- Pereira, A. I. (2008). *Modelação da Agitação Marítima em Zonas Costeiras*.
- Pereira, G. S. (2008). *PROJECTO DE UM QUEBRAMAR DESTACADO DE PROTECÇÃO PARA A FRENTE MARÍTIMA DE ESPINHO*.
- Pinto, F. T., & Neves, A. C. (2003). *A importância da consideração do carácter irregular da agitação marítimas no dimensionamento de quebramares de taludes*.
- Pinto, S. (s.d.). *Níveis de Água e Escoamentos*.
PORTAL NETMADEIRA. (27 de junho de 2016). Obtido de <http://www.netmadeira.com/noticias/madeira/artigo/68983-protesto-na-marina-do-lugar-de-baixo-marcado-para-esta-tarde>.
- Ramos, R. L. (2009). *Potencialidades e Condicionalismos Físicos, do Desenvolvimento Portuário da Região Autónoma da Madeira*.
- Ribeiro, M. L., & Ramalho, M. (2007). *UMA VISITA GEOLÓGICA AO ARQUIPÉLAGO DA MADEIRA*.
- Silva, J. M. (2014). *Análise do Galgamento onda a onda em estruturas marítimas*.
- Silva, P. (2010). *Níveis de água e escoamento*.
- Sousa, I. A., Santos, J. A., & Reis, M. T. (s.d.). *Dimensionamento do manto de quebra-mares de taludes utilizando métodos probabilísticos de nível II*.
- Taiwo, P. (2010). *Simulation and Analysis Of Wave - Structure Interactions*.
topographic-map.com. (27 de junho de 2016). Obtido de <http://pt-pt.topographic-map.com/places/Regi%C3%A3o-Aut%C3%B3noma-da-Madeira-4011886/>.
- Urbanidades da Madeira*. (27 de junho de 2016). Obtido de http://urbanidades-madeira.blogspot.pt/2008_07_01_archive.html.
- Viegas, M. D. (2014). *Modelação física do galgamento do quebra-mar do porto de Albufeira*.

ANEXOS

ANEXO I
PORTO DO FUNCHAL

Tabela 19 -Tabela de Mares 2016

PORTO DO FUNCHAL

HORAS DO FUSO 0 (TU)

2016

JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO											
Hora	Altura		Hora	Altura		Hora	Altura										
h	m	m	h	m	m	h	m	m									
1 SEX	6 15 12 37 18 52	1,9 .8 1,8	16 SAB D	6 15 12 37 18 58	2,2 .6 2,0	1 SEG E	0 50 7 10 13 20 19 57	.9 1,7 .9 1,7	16 TER	1 58 8 19 14 40 21 7	.8 1,9 .8 1,9	1 TER E	6 16 12 28 18 53	1,8 .9 1,7	16 QUA	1 41 8 1 14 17 20 44	.8 1,8 .9 1,9
2 SAB E	0 50 7 13 13 37 19 58	1,0 1,8 .9 1,7	17 DOM	1 3 7 22 13 47 20 12	.7 2,0 .7 1,9	2 TER	2 6 8 28 14 46 21 16	1,0 1,7 .9 1,7	17 QUA	3 29 9 47 16 4 22 25	.8 1,8 .8 1,9	2 QUA	1 6 7 27 13 42 20 15	1,0 1,6 1,0 1,7	17 QUI	3 15 9 34 15 47 22 7	.8 1,8 .9 1,9
3 DOM	2 1 8 21 14 45 21 9	1,0 1,8 .9 1,7	18 SEG	2 21 8 40 15 4 21 29	.8 2,0 .7 1,9	3 QUA	3 34 9 49 16 0 22 25	1,0 1,7 .9 1,8	18 QUI	4 48 11 1 17 11 23 27	.7 1,9 .7 2,0	3 QUI	2 38 9 2 15 11 21 40	1,0 1,6 1,0 1,8	18 SEX	4 36 10 49 16 56 23 10	.8 1,8 .8 2,0
4 SEG	3 18 9 32 15 50 22 12	1,0 1,8 .9 1,8	19 TER	3 43 9 58 16 17 22 38	.8 2,0 .7 2,0	4 QUI	4 46 10 55 16 59 23 19	.9 1,8 .8 2,0	19 SEX	5 48 11 58 18 2	.6 2,0 .6	4 SEX	4 5 10 21 16 25 22 45	.9 1,7 .9 1,9	19 SAB	5 34 11 42 17 46 23 57	.7 1,9 .7 2,1
5 TER	4 25 10 34 16 44 23 4	.9 1,8 .8 1,9	20 QUA	4 55 11 6 17 19 23 36	.7 2,0 .6 2,1	5 SEX	5 37 11 46 17 47	.7 1,9 .6	20 SAB	0 15 6 34 12 40 18 43	2,2 .5 2,0 .5	5 SAB	5 7 11 19 17 20 23 36	.7 1,9 .7 2,1	20 DOM	6 16 12 23 18 25	.6 2,0 .6
6 QUA	5 18 11 25 17 30 23 48	.8 1,9 .7 2,0	21 QUI	5 53 12 3 18 10 24 10	.6 2,1 .5	6 SAB	0 4 6 21 12 29 18 30	2,1 .6 2,0 2,3	21 DOM	0 56 7 12 13 18 19 19	2,3 .4 2,1 .5	6 DOM	5 55 12 5 18 7	.6 2,1 .5	21 SEG	0 36 6 51 12 57 18 59	2,2 .5 2,1 .5
7 QUI	6 2 12 9 18 12	.7 2,0 .6	22 SEX	0 26 6 42 12 50 18 54	2,2 .4 2,1 .5	7 DOM	0 46 7 1 13 10 19 11	2,3 .4 2,2 .4	22 SEG E	1 33 7 46 13 52 19 52	2,3 .4 2,2 .4	7 SEG	0 21 6 37 12 48 18 49	2,3 .4 2,2 .3	22 TER	1 10 7 22 13 28 19 30	2,3 .4 2,2 .5
8 SEX	0 28 6 42 12 49 18 50	2,2 .6 2,1 .5	23 SAB	1 9 7 25 13 32 19 33	2,3 .4 2,2 .4	8 SEG E	1 26 7 41 13 51 19 51	2,4 .3 2,3 .3	23 TER	2 6 8 18 14 24 20 24	2,4 .3 2,2 .4	8 TER	1 3 7 18 13 29 19 31	2,5 .2 2,4 .2	23 QUA E	1 42 7 51 13 58 20 0	2,3 .4 2,2 .4
9 SAB	1 6 7 21 13 29 19 29	2,3 .5 2,2 .4	24 DOM E	1 49 8 4 14 11 20 10	2,4 .3 2,2 .4	9 TER	2 6 8 20 14 31 20 31	2,5 .2 2,4 .2	24 QUA	2 39 8 48 14 56 20 55	2,4 .3 2,2 .4	9 QUA E	1 45 7 59 14 11 20 13	2,6 .1 2,5 .1	24 QUI	2 13 8 20 14 28 20 30	2,3 .4 2,3 .4
10 DOM E	1 46 7 59 14 8 20 7	2,4 .4 2,2 .4	25 SEG	2 27 8 40 14 47 20 45	2,4 .3 2,2 .4	10 QUA	2 47 9 1 15 13 21 13	2,6 .1 2,4 .2	25 QUI	3 11 9 19 15 28 21 27	2,3 .4 2,2 .5	10 QUI	2 27 8 40 14 53 20 56	2,6 .1 2,5 .1	25 SEX	2 43 8 49 14 59 21 1	2,3 .4 2,2 .4
11 SEG	2 24 8 38 14 48 20 47	2,4 .3 2,3 .3	26 TER	3 3 9 15 15 22 21 20	2,4 .4 2,2 .4	11 QUI	3 29 9 43 15 56 21 57	2,6 .2 2,4 .3	26 SEX	3 43 9 50 16 0 21 59	2,3 .4 2,1 .5	11 SEX	3 11 9 22 15 36 21 40	2,6 .1 2,5 .2	26 SAB	3 15 9 19 15 30 21 33	2,2 .4 2,2 .5
12 TER	3 4 9 18 15 30 21 29	2,5 .3 2,3 .4	27 QUA	3 38 9 50 15 58 21 54	2,3 .4 2,1 .5	12 SEX	4 13 10 27 16 41 22 44	2,5 .2 2,3 .4	27 SAB	4 15 10 22 16 34 22 34	2,2 .5 2,0 .6	12 SAB	3 55 10 6 16 21 22 27	2,5 .2 2,4 .3	27 DOM	3 46 9 50 16 3 22 7	2,2 .5 2,1 .6
13 QUA	3 46 10 1 16 14 22 13	2,5 .3 2,2 .4	28 QUI	4 13 10 24 16 33 22 30	2,2 .5 2,0 .6	13 SAB	5 1 11 16 17 32 23 36	2,3 .4 2,1 .5	28 DOM	4 49 10 57 17 10 23 12	2,0 .7 1,9 .8	13 DOM	4 43 10 53 17 10 23 19	2,4 .4 2,2 .5	28 SEG	4 20 10 23 16 38 22 44	2,0 .6 2,0 .7
14 QUI	4 30 10 47 17 2 23 1	2,4 .4 2,2 .5	29 SEX	4 49 11 1 17 11 23 9	2,1 .6 1,9 .7	14 DOM	5 54 12 11 18 30	2,2 .6 2,0	29 SEG	5 27 11 37 17 54 23 59	1,9 .8 1,8 .9	14 SEG	5 35 11 47 18 7	2,2 .6 2,1	29 TER	4 57 11 1 17 19 23 28	1,9 .8 1,9 .8
15 SEX	5 19 11 38 17 55 23 57	2,3 .5 2,1 .6	30 SAB	5 27 11 41 17 54 23 53	2,0 .7 1,8 .9	15 SEG D	0 39 6 58 13 18 19 43	.7 2,0 .7 1,9	15 TER D	0 21 6 39 12 52 19 18	.7 2,0 .8 1,9	15 QUA	0 21 6 39 12 52 19 18	.7 2,0 .8 1,9	30 QUA	5 43 11 49 18 12	1,8 .9 1,8
			31 DOM	6 12 12 28 18 47	1,9 .8 1,7							31 QUI E	0 29 6 49 12 57 19 26	.9 1,7 1,0 1,8			

Entre a 1 hora de tempo legal (1 hora TU) de dia 27 de março e as 2 horas de tempo legal (1 hora TU) de dia 30 de outubro (hora de verão), deverão os utilizadores somar 90 minutos aos valores horários indicados. Devido à variação do nível médio do mar, são de esperar alturas de água superiores, em cerca de 0.1 m, aos valores indicados na tabela.

© Copyright Marinha, Instituto Hidrográfico, 2013

Tabela 20 - Elementos de Mares 2016

PORTO	PMmáx.	mês	día	hora	min	PMAV.	PMAM.	NM.	BMAM.	BMAV.	BMmin	mês	día	hora	min.
VIANA DO CASTELO	3.89	3	10	03	31	3.52	2.71	2.00	1.29	.47	.13	4	8	09	22
LEIXÕES	3.90	3	10	03	33	3.50	2.71	2.00	1.30	.47	.14	3	10	09	44
AVEIRO	3.70	3	10	03	56	3.37	2.67	2.00	1.34	.58	.28	3	10	09	44
FIGUEIRA DA FOZ	3.89	3	10	03	34	3.52	2.70	2.00	1.31	.49	.18	3	10	09	30
PENICHE	3.88	3	10	03	19	3.51	2.70	2.00	1.31	.48	.18	3	10	09	30
CASCAIS	3.89	3	10	03	09	3.53	2.75	2.08	1.43	.62	.32	3	10	09	19
LISBOA	4.31	10	17	16	01	3.89	3.01	2.20	1.39	.51	.15	3	10	09	53
SESIMBRA	3.78	3	10	03	07	3.45	2.66	2.00	1.35	.57	.20	4	8	08	56
SETÚBAL	3.84	3	10	03	41	3.51	2.71	2.00	1.31	.47	.17	3	10	09	49
SINES	3.81	3	10	03	07	3.46	2.67	2.00	1.35	.55	.23	4	8	08	54
LAGOS	3.85	3	10	02	58	3.50	2.69	2.00	1.33	.51	.21	3	10	09	07
FARO-OLHÃO	3.76	3	10	03	18	3.43	2.67	2.00	1.34	.48	.17	3	10	09	13
VILA REAL S. ^{TO} ANTÓNIO	3.85	9	18	15	32	3.48	2.66	2.00	1.33	.64	.37	3	10	09	35
FUNCHAL	2.74	9	18	14	44	2.45	1.87	1.40	.94	.36	.07	3	10	08	40
VILA DO PORTO	1.99	9	18	14	17	1.76	1.33	1.00	.67	.27	.02	4	8	07	54
PONTA DELGADA	1.91	3	10	02	04	1.74	1.33	1.00	.67	.29	.12	4	8	07	59
ANGRA DO HEROÍSMO	1.86	10	16	13	18	1.66	1.30	1.00	.71	.34	.21	4	8	08	00
HORTA	1.80	3	10	01	51	1.62	1.28	1.00	.73	.40	.24	4	8	07	47
LAJES DAS FLORES	1.71	10	16	13	10	1.55	1.25	1.00	.76	.47	.30	4	8	07	47

AI.1. CLIMA MARITIMO

AI.1.1. Regime Anual

Tabela 21 - Registos das alturas significativas e dos períodos de pico do Funchal

H _{Mo} (m)	T _P (s)											TOTAL
	≤2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	>20	
≤0,5	-	30	155	361	576	670	652	479	108	36	-	3067
1,0	-	197	885	2722	1442	2177	1506	1259	263	128	-	10579
1,5	-	17	251	1021	542	630	562	264	47	14	-	3348
2,0	-	-	35	327	199	187	119	79	13	6	-	965
2,5	-	-	3	173	114	128	48	46	13	4	-	529
3,0	-	-	-	104	113	104	36	31	21	2	-	411
3,5	-	-	-	78	168	142	81	37	13	6	-	525
4,0	-	-	-	25	153	101	31	23	9	1	-	343
4,5	-	-	-	1	50	52	18	6	-	-	-	127
5,0	-	-	-	1	19	33	16	3	-	-	-	72
5,5	-	-	-	-	2	10	15	4	-	-	-	31
6,0	-	-	-	-	1	3	2	3	-	-	-	9
>6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
TOTAL	0	244	1329	4813	3379	4237	3086	2234	487	197	0	20006

Tabela 22 - Registos das direções das alturas significativas do Funchal

DIREÇÃO	H _{Mo} (m)													TOTAL
	≤0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	>6,0	
N	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
NNE	1	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
NE	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
ENE	6	40	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47
E	231	1987	385	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2622
ESE	100	596	182	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	894
SE	54	168	109	59	15	4	4	4	-	-	-	-	-	417
SSE	130	213	60	25	22	15	25	5	1	6	-	-	-	502
S	541	746	54	31	18	20	14	7	3	1	-	-	-	1435
SSW	950	1430	90	37	16	21	12	16	8	6	1	-	-	2587
SW	200	347	76	44	57	55	77	95	43	21	2	2	-	1019
WSW	274	821	207	81	79	72	134	96	50	32	18	3	-	1867
W	543	4036	2133	645	322	223	250	118	22	6	10	4	-	8312
WNW	33	179	49	6	-	1	8	2	-	-	-	-	-	278
NW	2	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
NNW	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	3
TOTAL	3067	10579	3348	965	529	411	525	343	127	72	31	9	0	20006

Boia Ondógrafo do Funchal

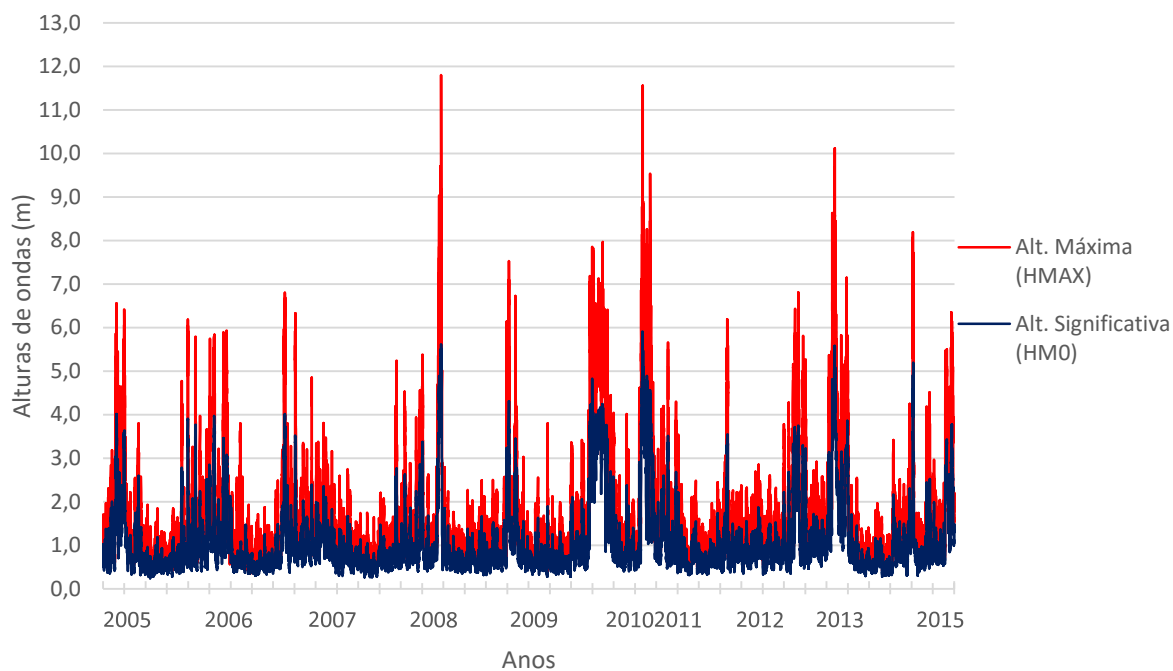


Figura 87 - Registo anual das alturas significativa e das alturas máximas do Funchal

Boia Ondógrafo do Funchal

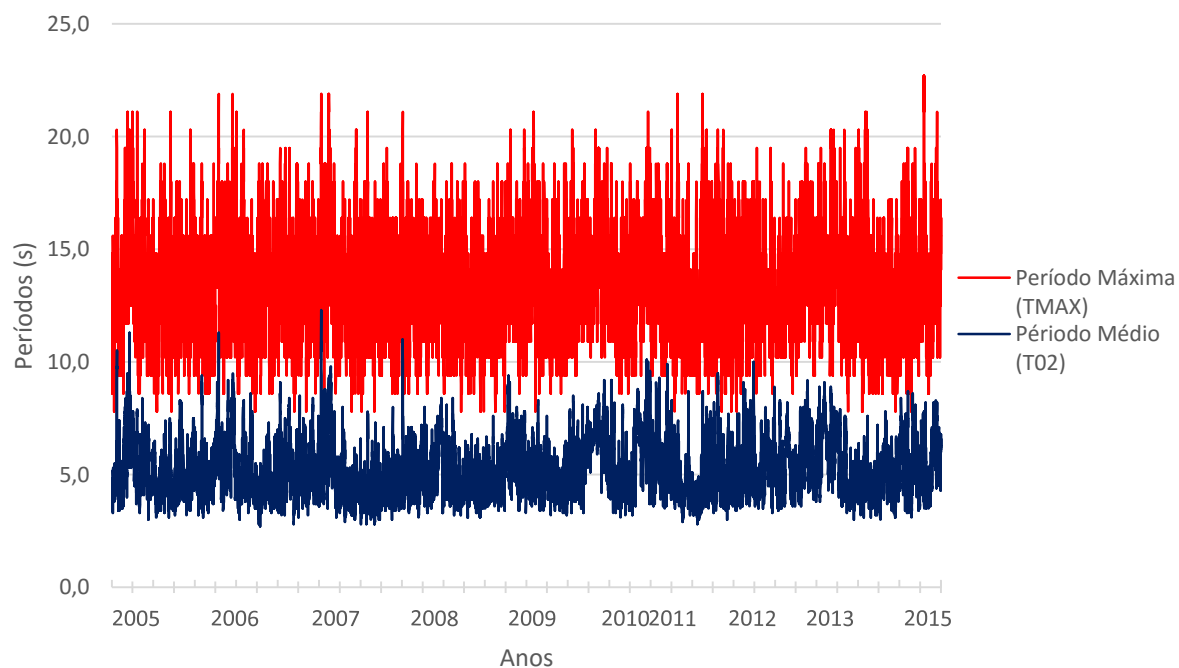


Figura 88 - Registo anual do período medio e do período máximo do Funchal

Boia Ondógrafo do Funchal

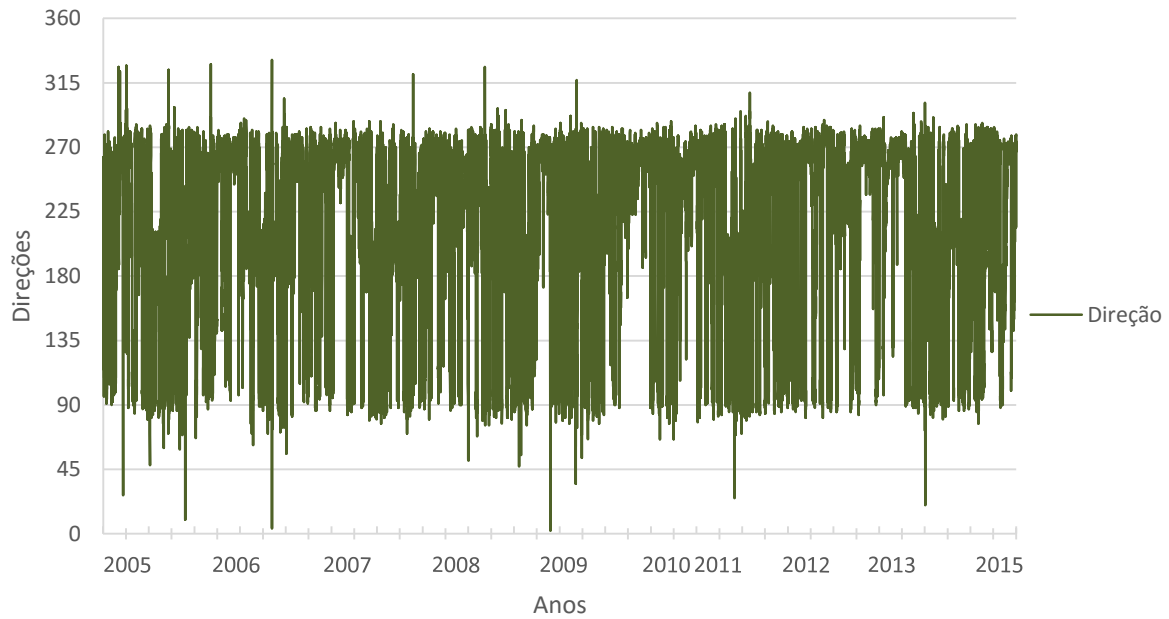


Figura 89 - Registo anual das direções de onda do Funchal

AI.1.2. Regime Estacional

AI.1.2.1. primavera

Frequência H_{M0}

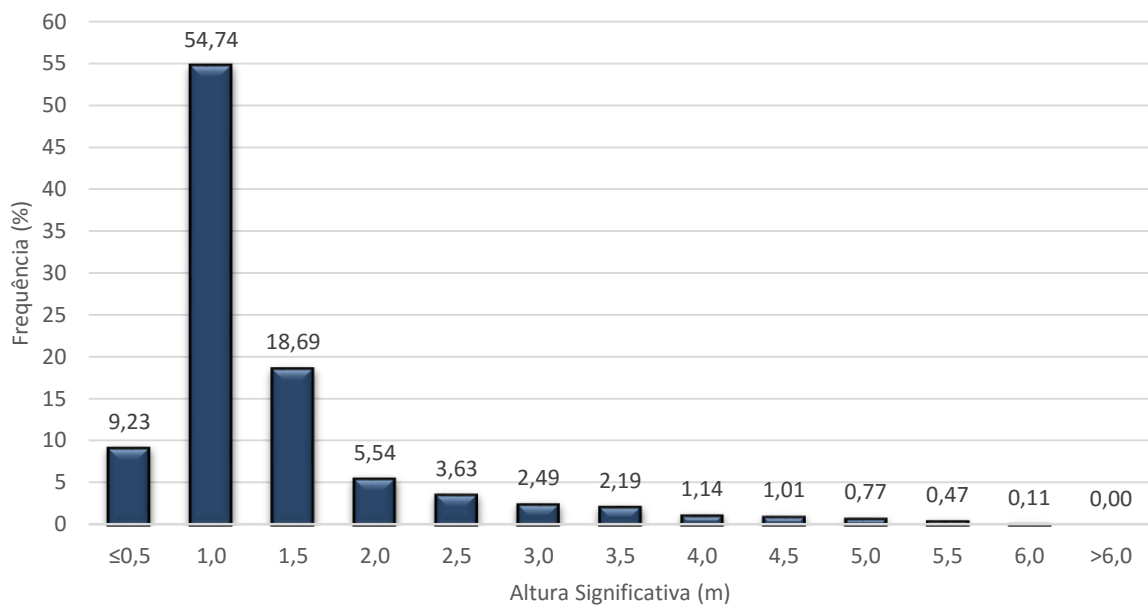


Figura 90 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Funchal (primavera)

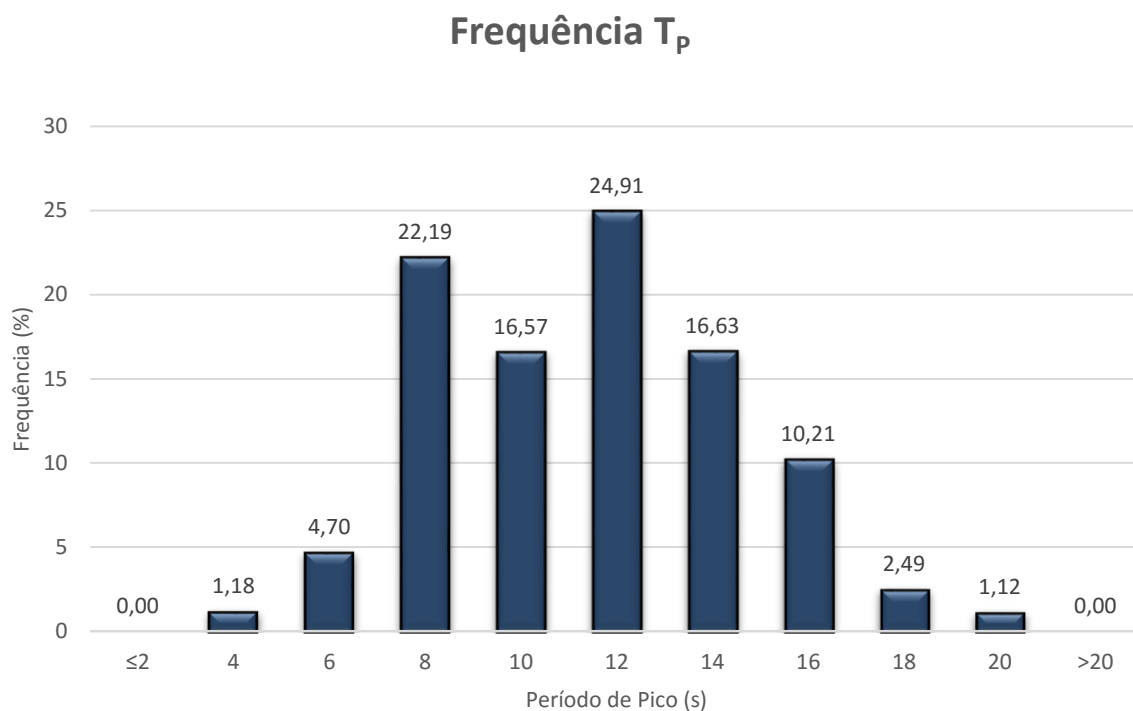


Figura 91 - Frequência do período de pico estacional do Funchal (primavera)

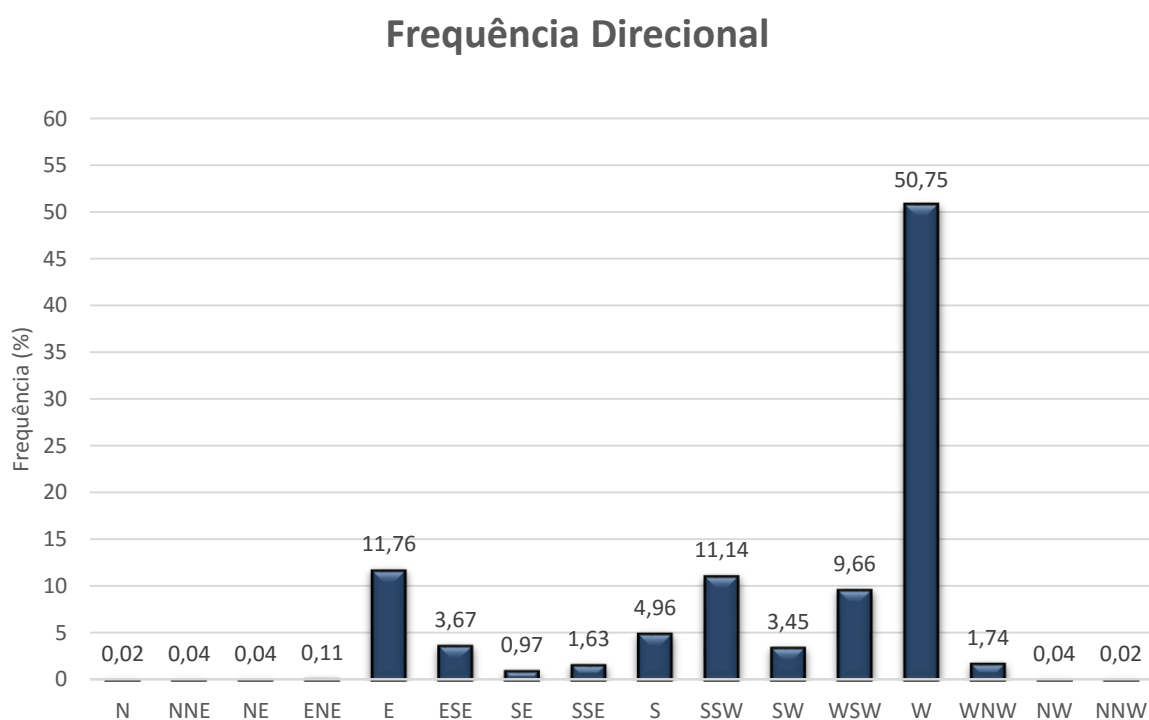


Figura 92 - Frequência direcional estacional do Funchal (primavera)

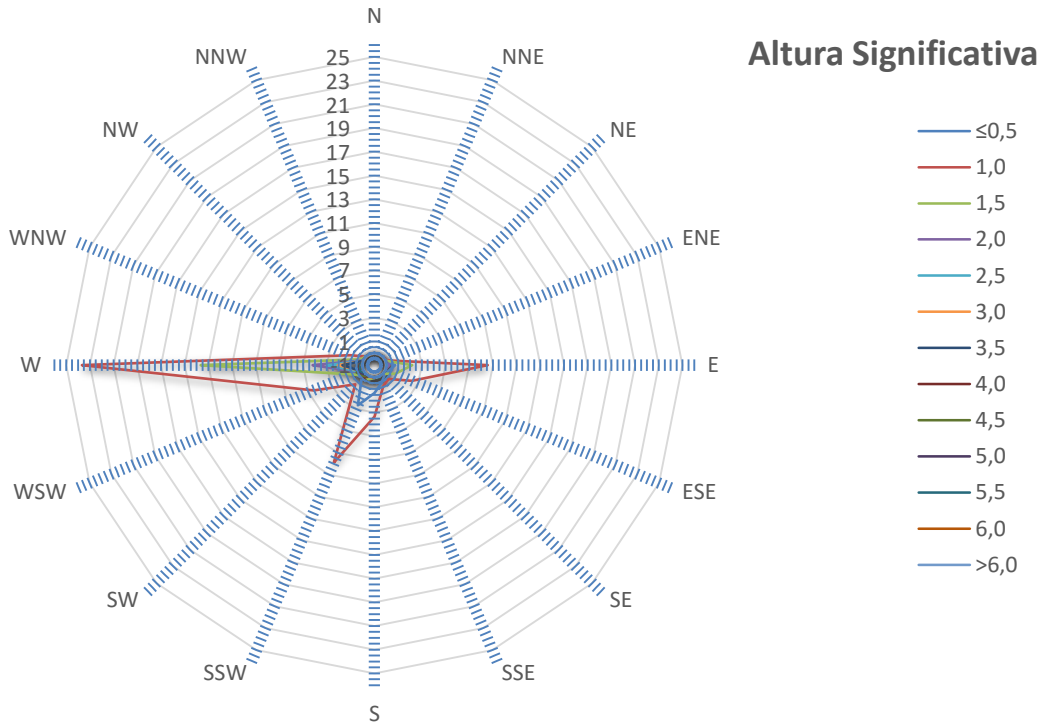


Figura 93 - Direção da altura de onda significativa estacional do Funchal (primavera)

Al.1.2.2. verão

Frequência H_{M0}

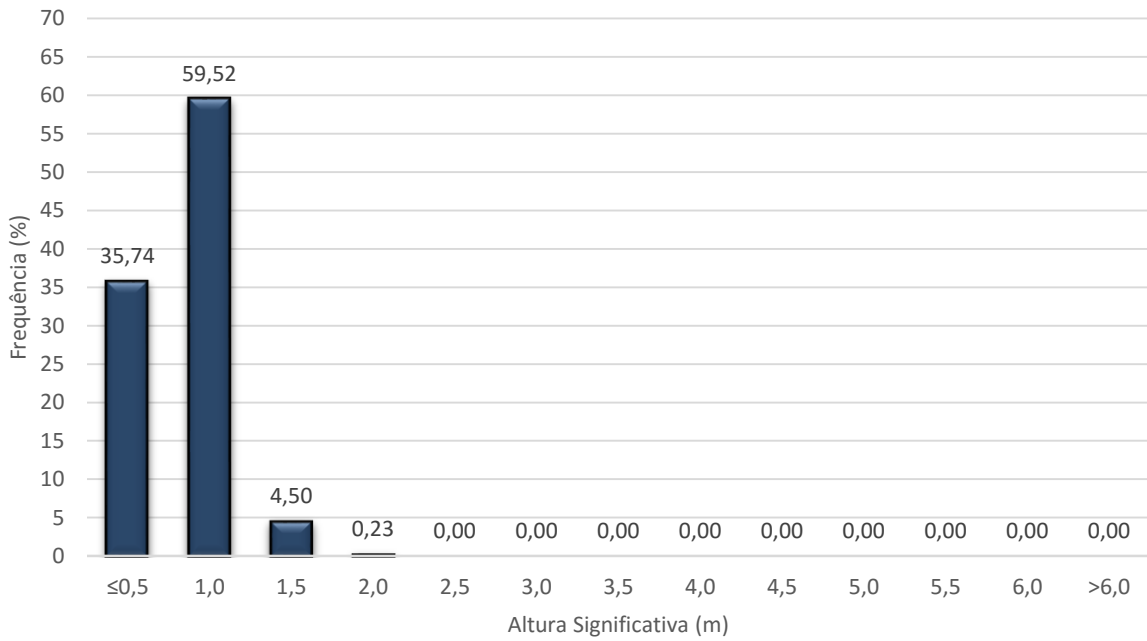


Figura 94 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Funchal (verão)

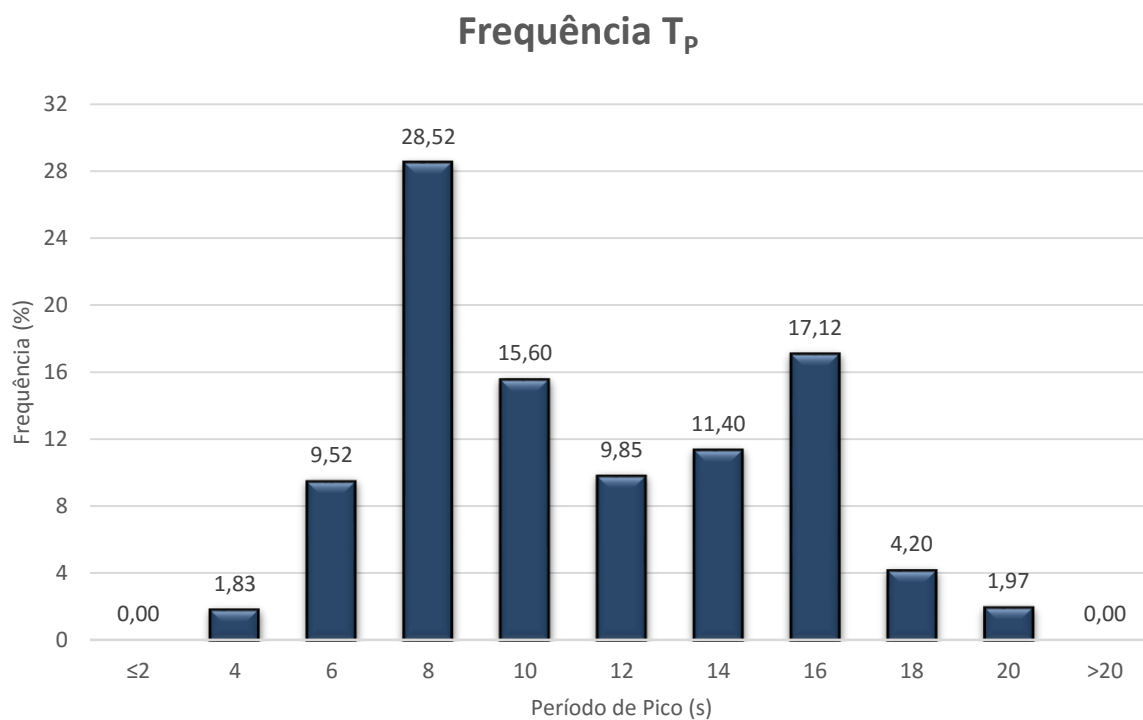


Figura 95 - Frequência do período de pico estacional do Funchal (verão)

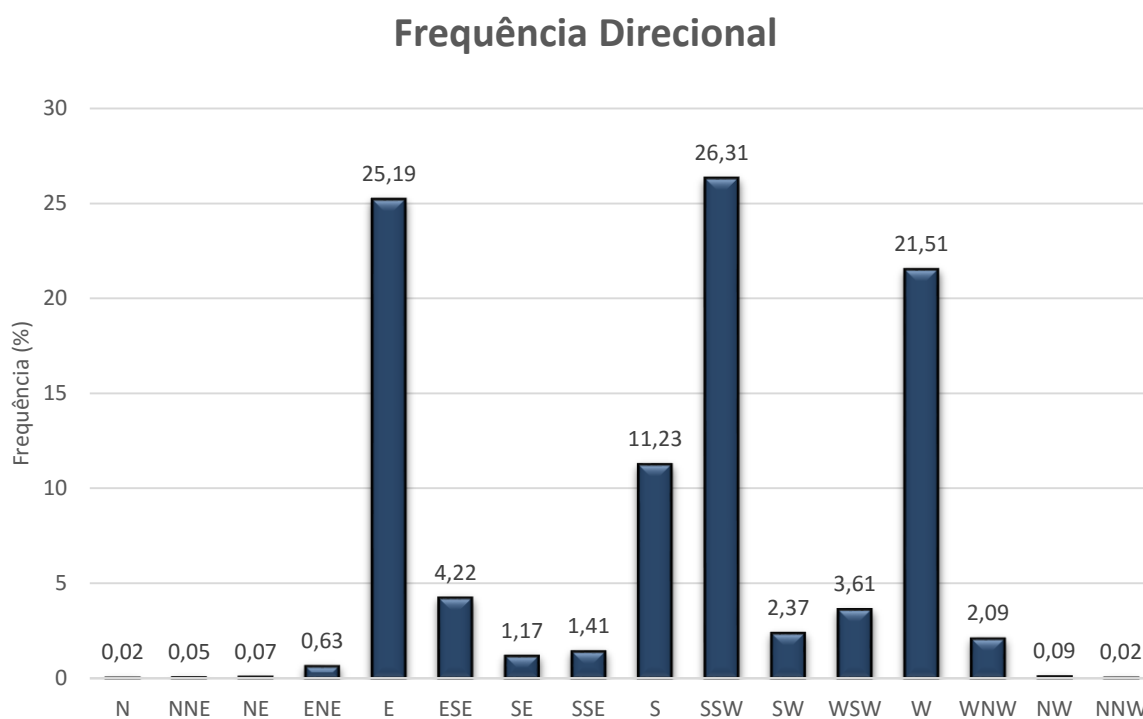


Figura 96 - Frequência direcional estacional do Funchal (verão)

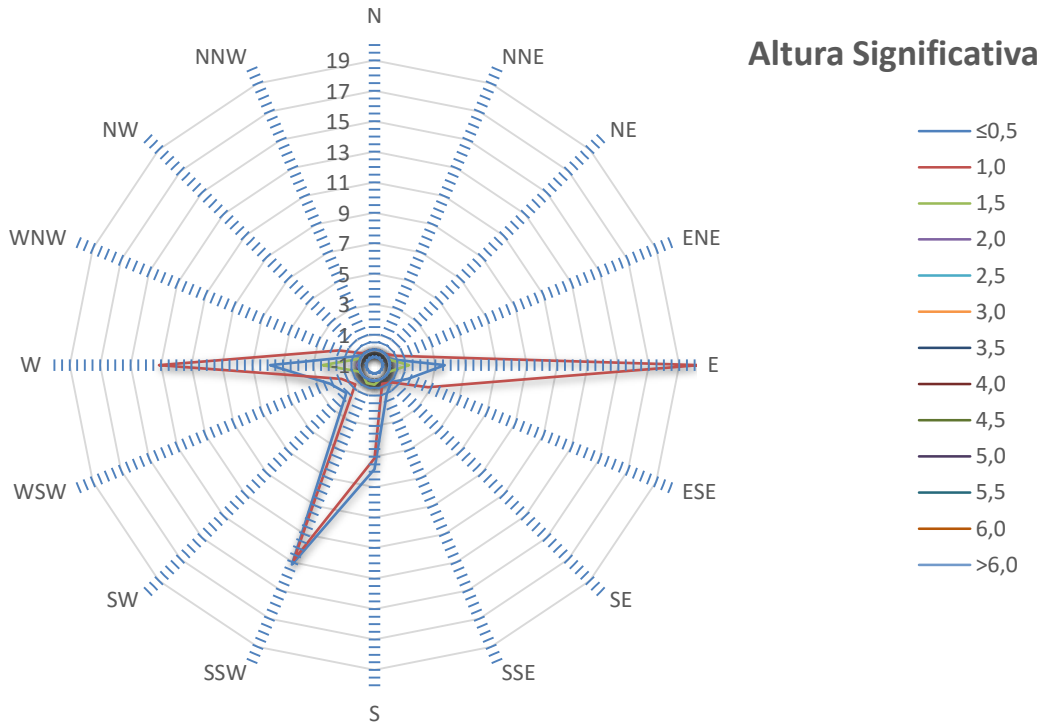


Figura 97 - Direção da altura de onda significativa estacional do Funchal (verão)

Al.1.2.3. outono

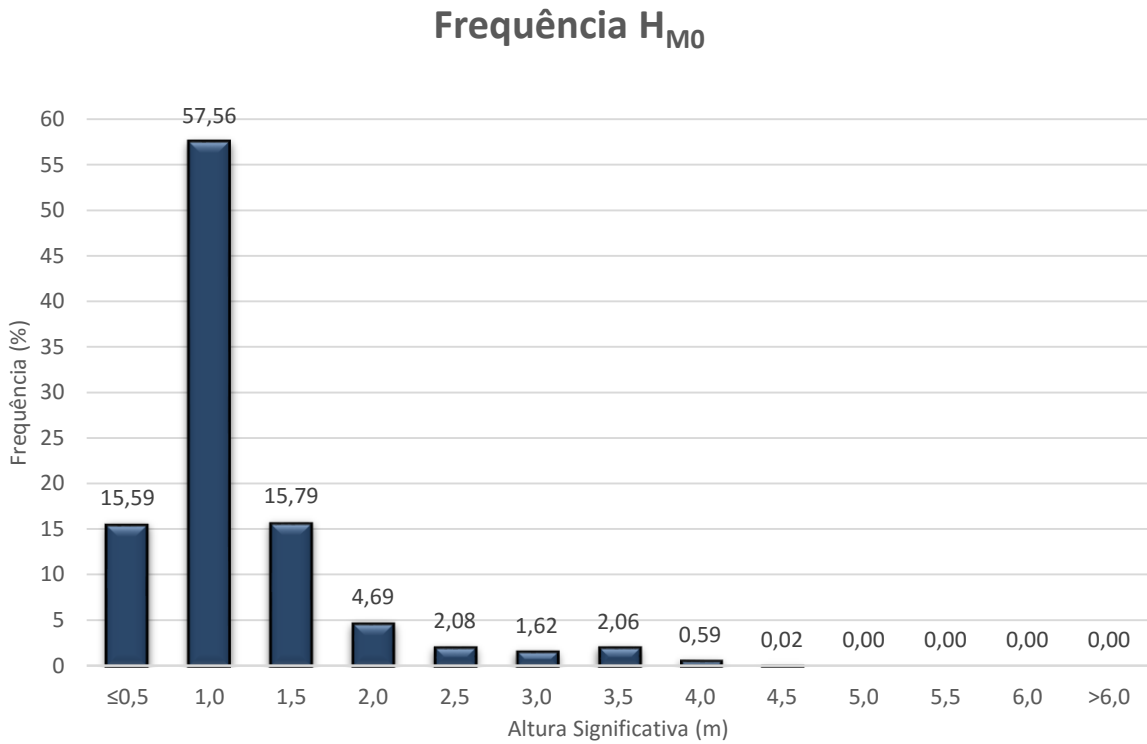


Figura 98 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Funchal (outono)

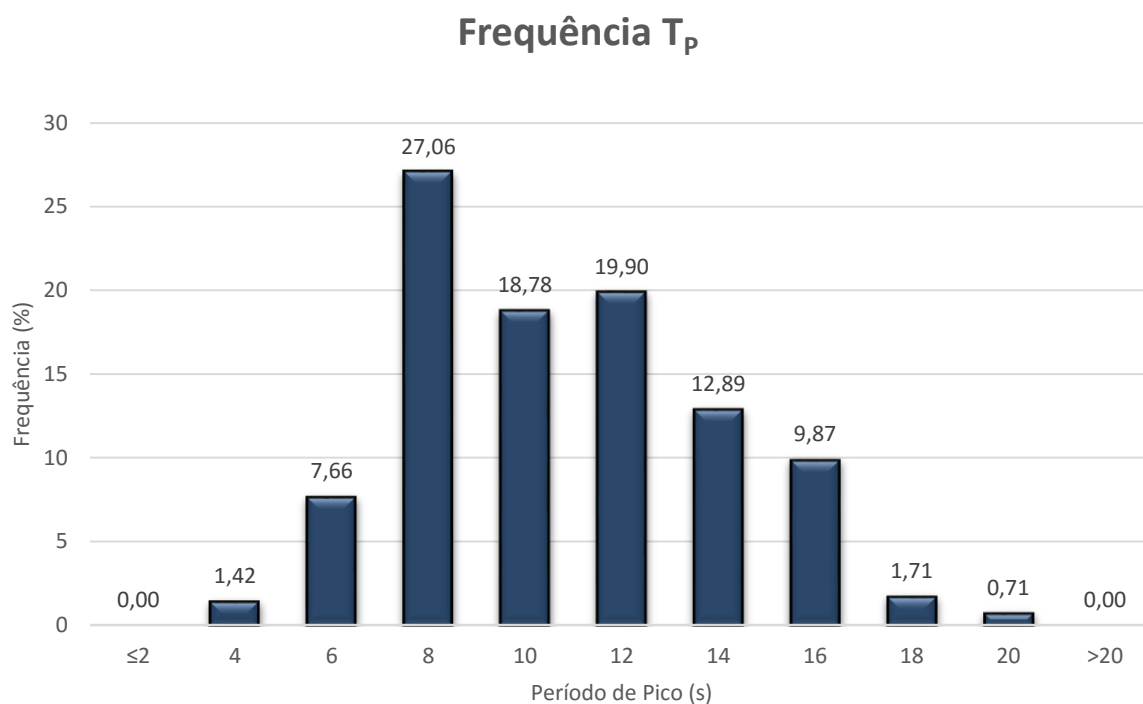


Figura 99 - Frequência do período de pico estacional do Funchal (outono)

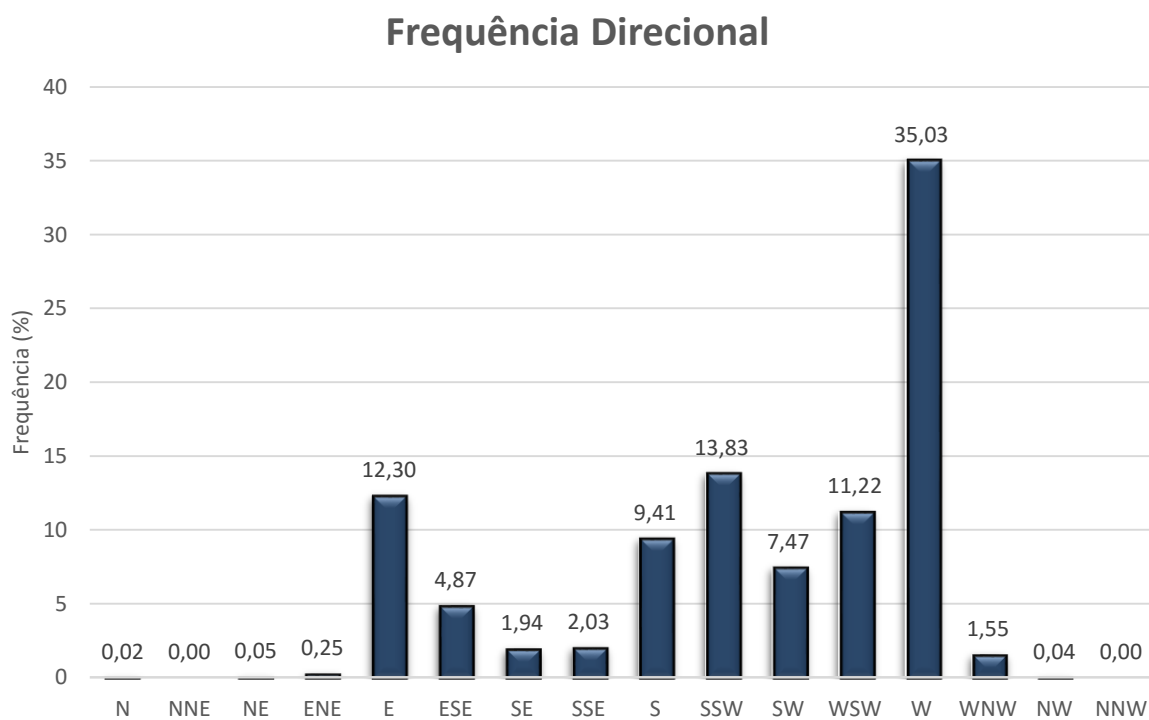


Figura 100 - Frequência direcional estacional do Funchal (outono)

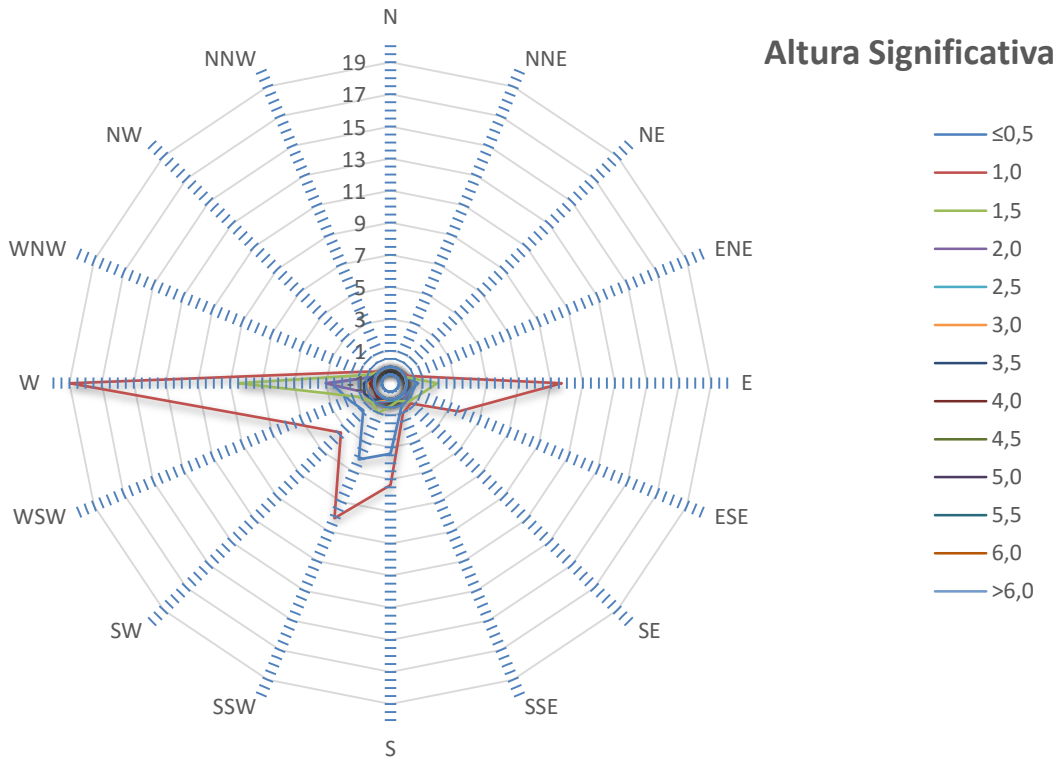


Figura 101 - Direção da altura de onda significativa estacional do Funchal (outono)

Leis Probabilísticas

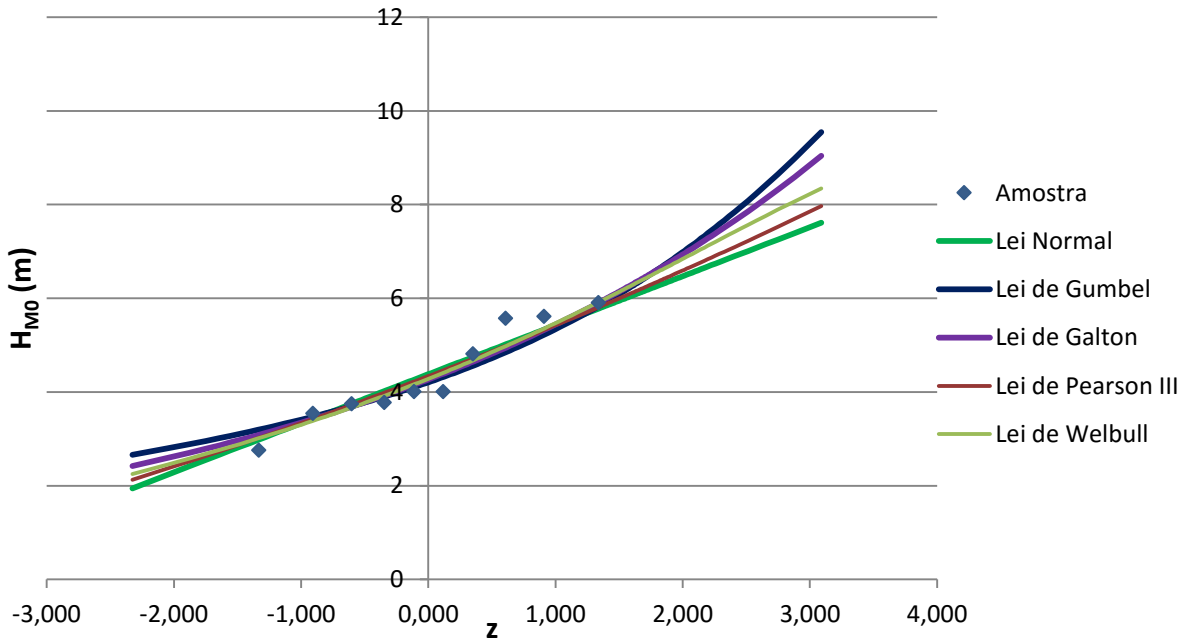


Figura 102 - Leis Probabilísticas

AI.1.3. Carol

AI.1.3.1. Descrição de dados

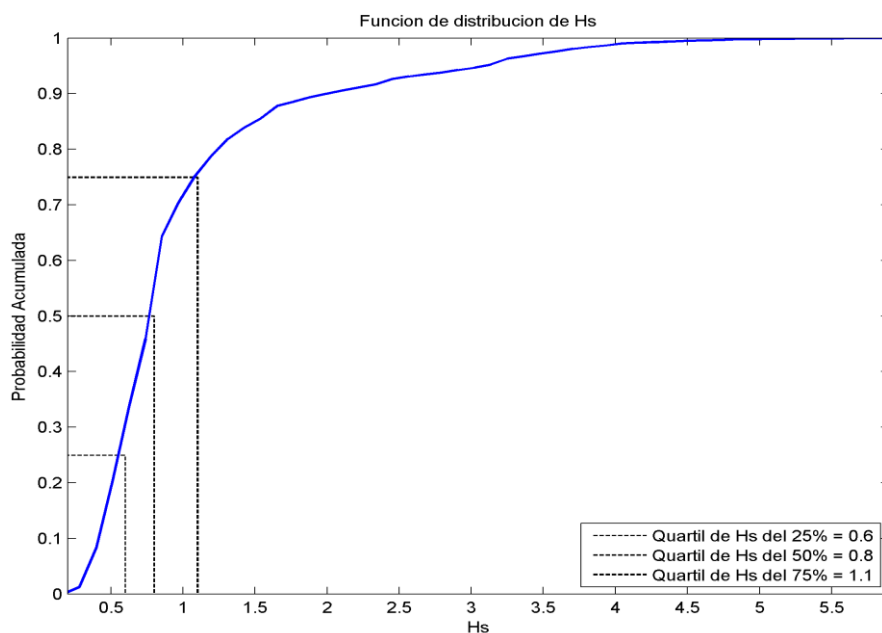


Figura 103 - Função de distribuição da altura significativa do Funchal

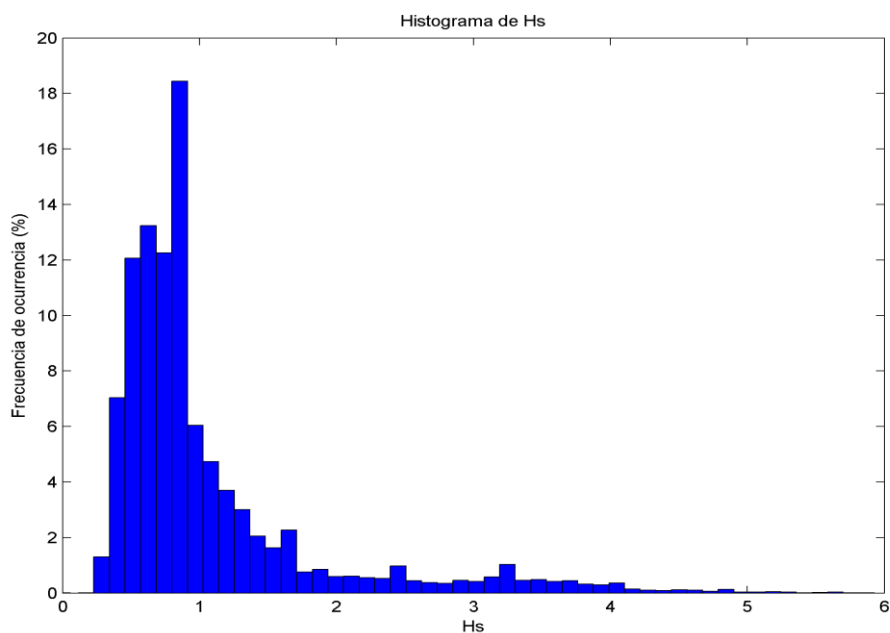


Figura 104 - Histograma das alturas significativas

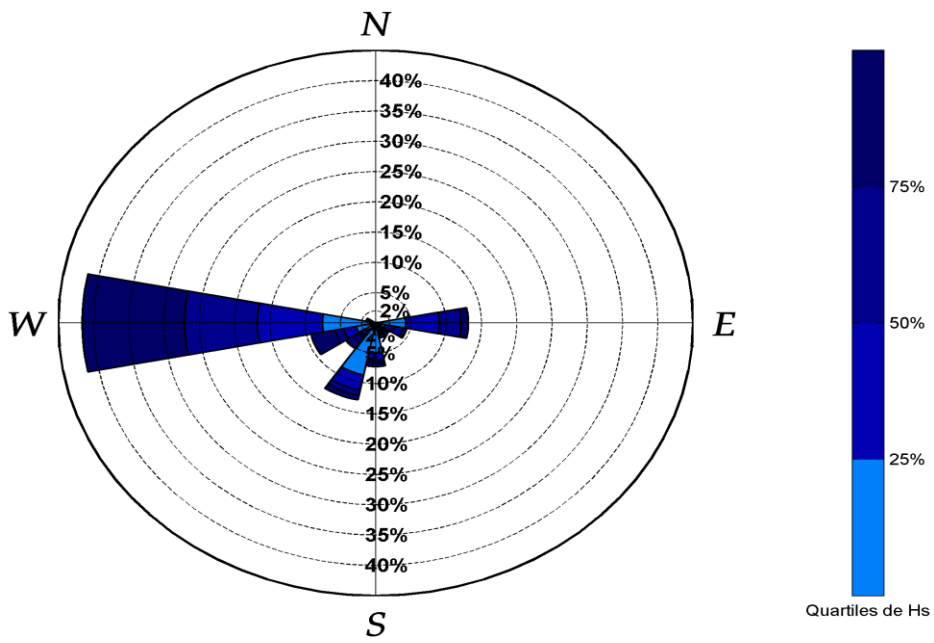


Figura 105 - Rosa dos Ventos distribuição da altura significativa do Funchal

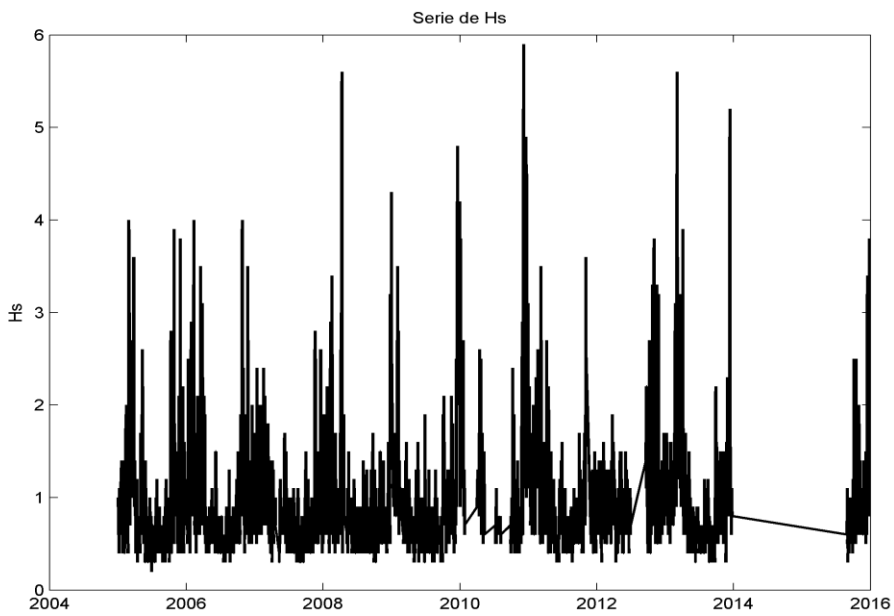


Figura 106 - Serie temporal da altura significativa do Funchal

Al.1.3.2. Regime Médio

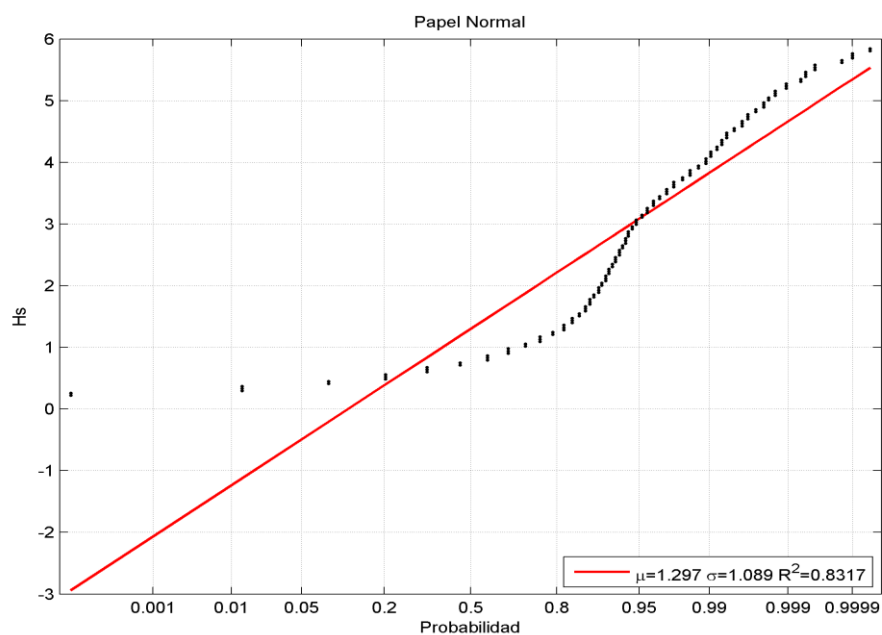


Figura 107 - Distribuição Normal do Funchal (Carol)

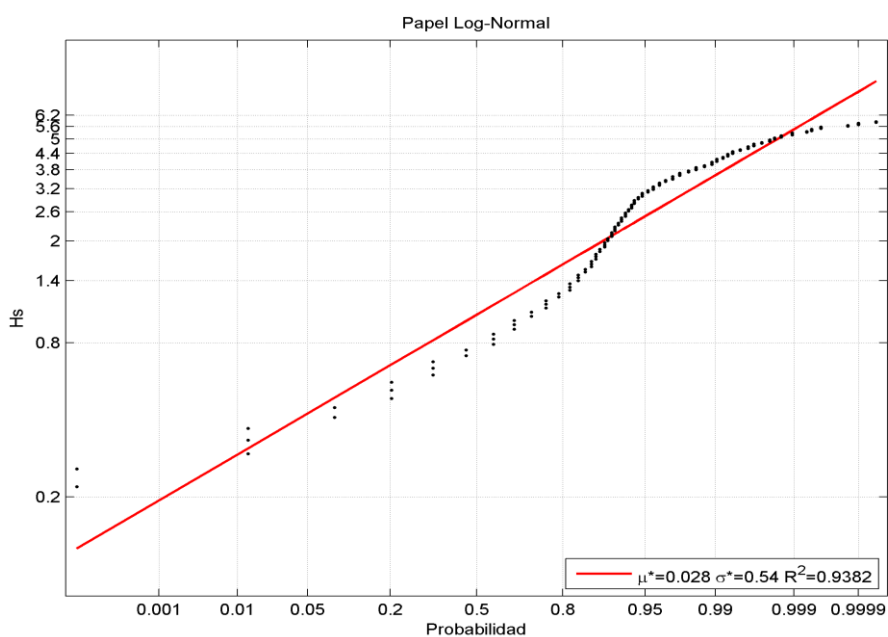


Figura 108 - Distribuição Log-Normal do Funchal (Carol)

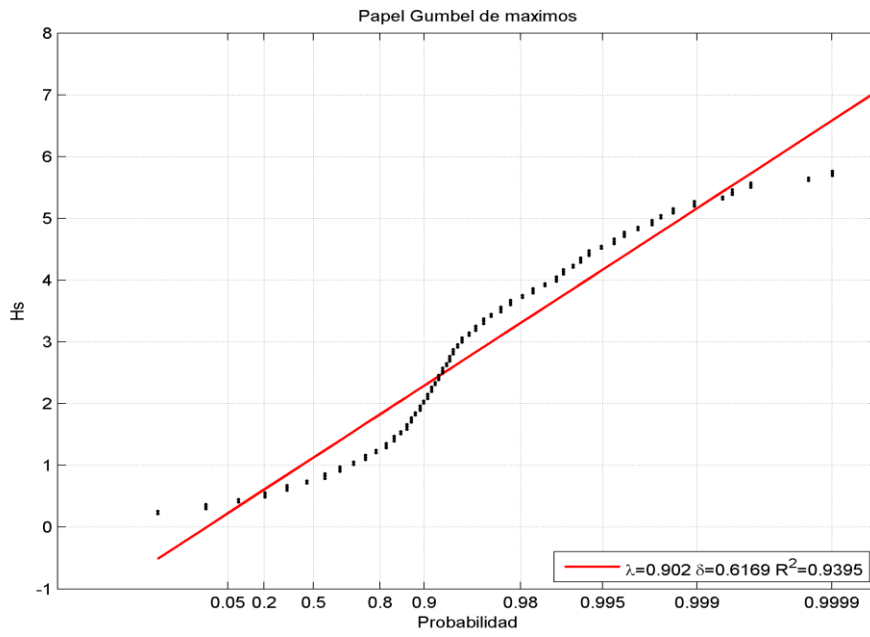


Figura 109 - Distribuição de Gumbel do Funchal (Carol)

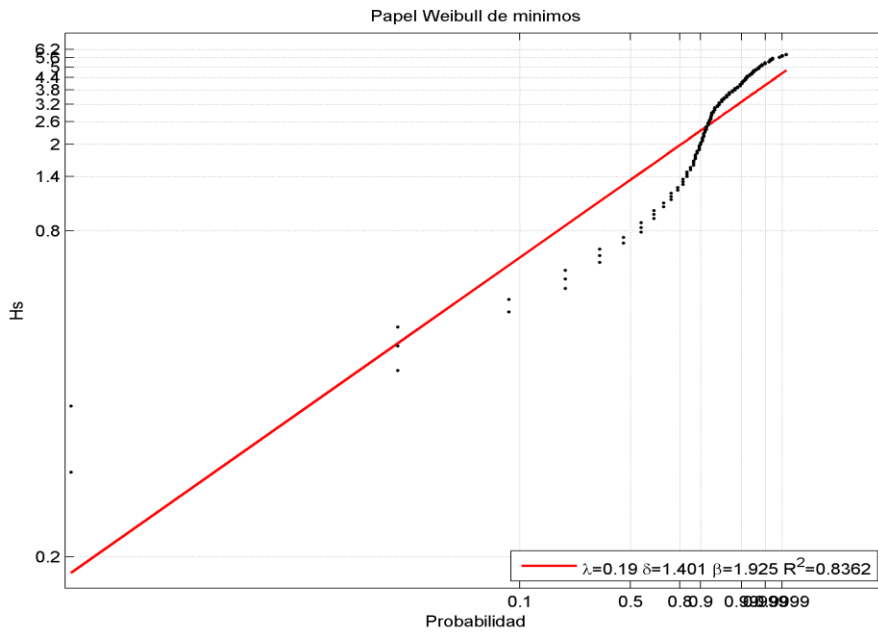


Figura 110 - Distribuição de Weibull do Funchal (Carol)

Al.1.3.3. Regime de Extremos

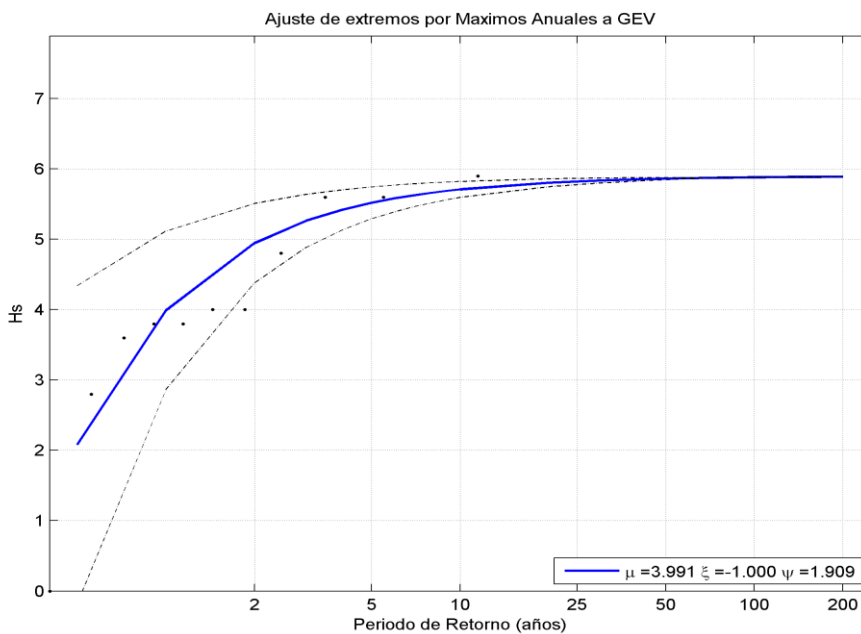


Figura 111 - GEV do Funchal (Carol)

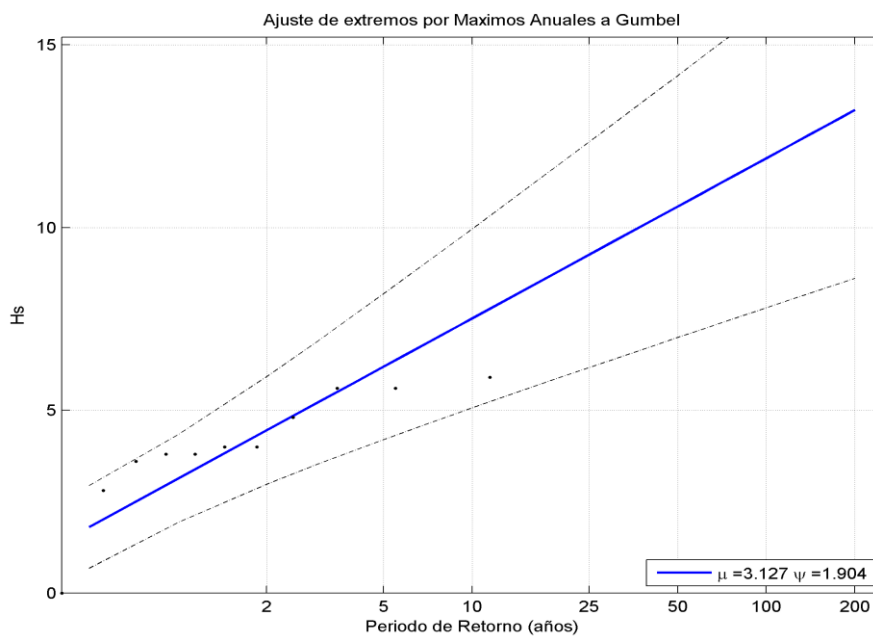


Figura 112 - Gumbel máximos anuais do Funchal (Carol)

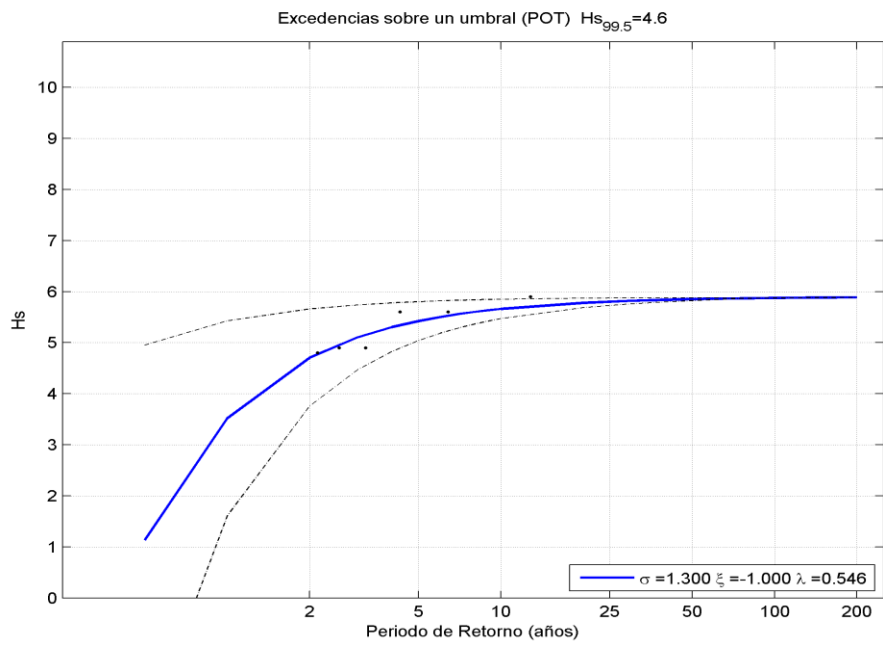


Figura 113 - POT do Funchal (Carol)

AI.1.4. Mopla

AI.1.4.1. Caso A1

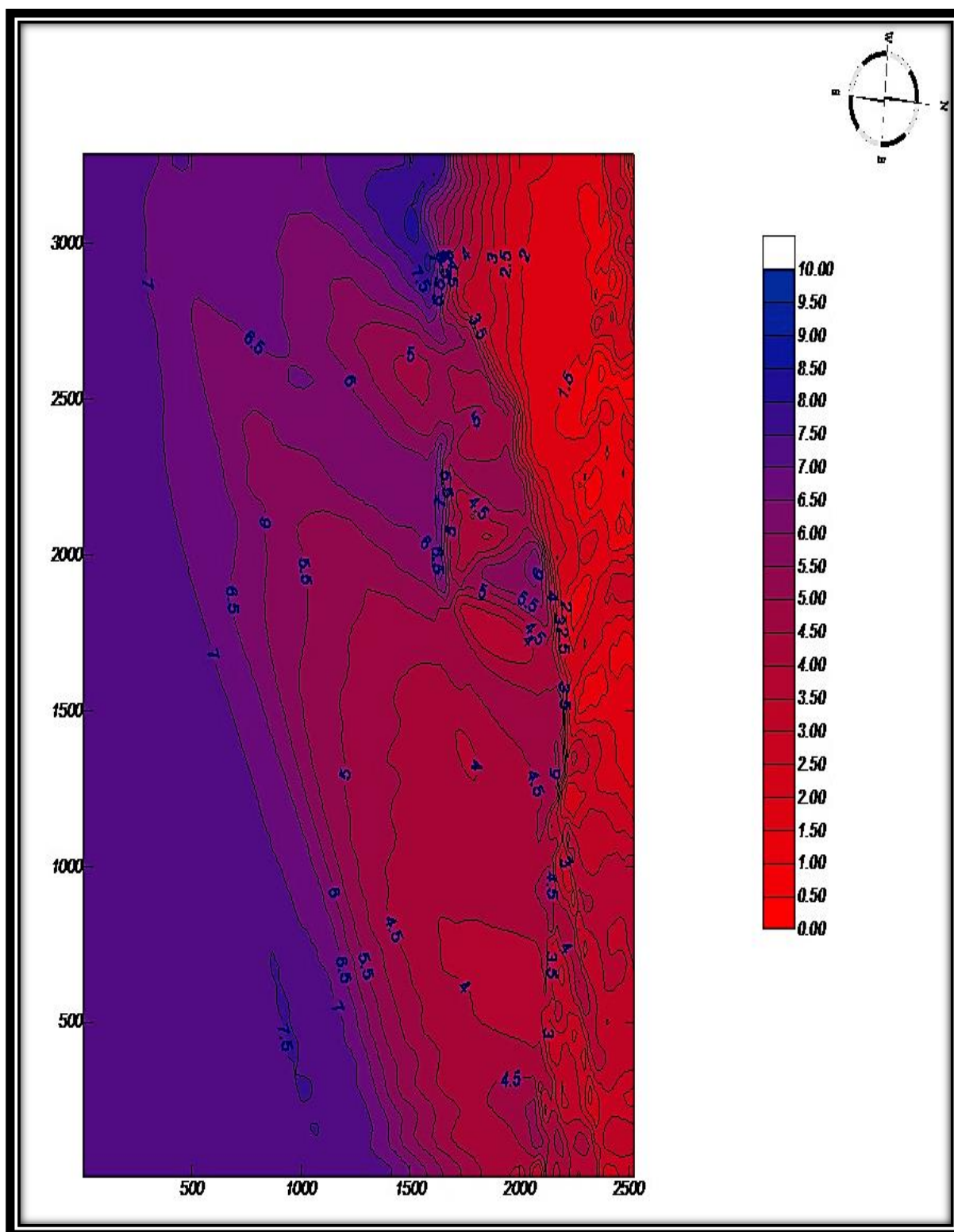


Figura 114 - Altura de onda, caso M0 - A1

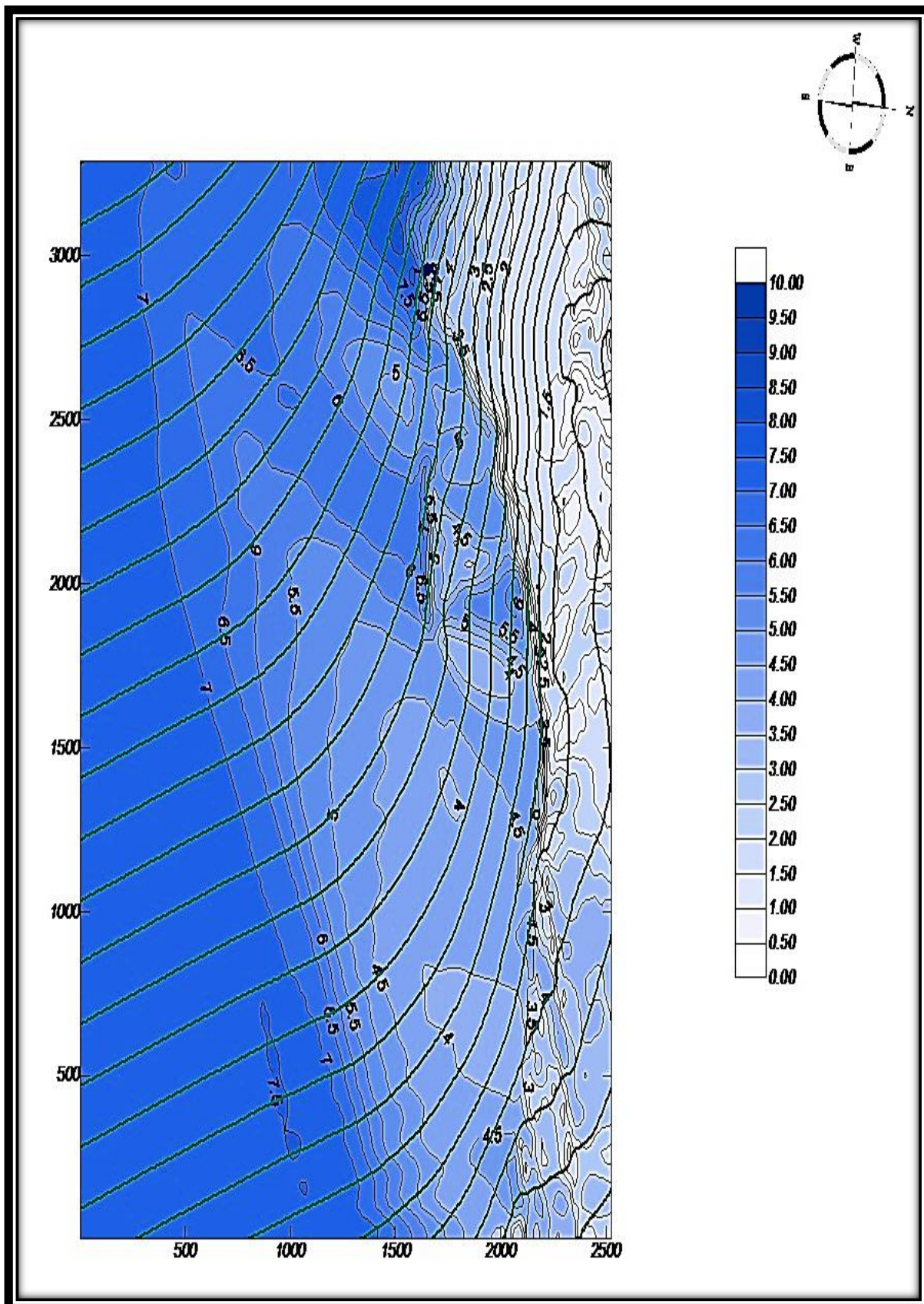


Figura 115 - Propagação da altura de onda, caso M0 - A1

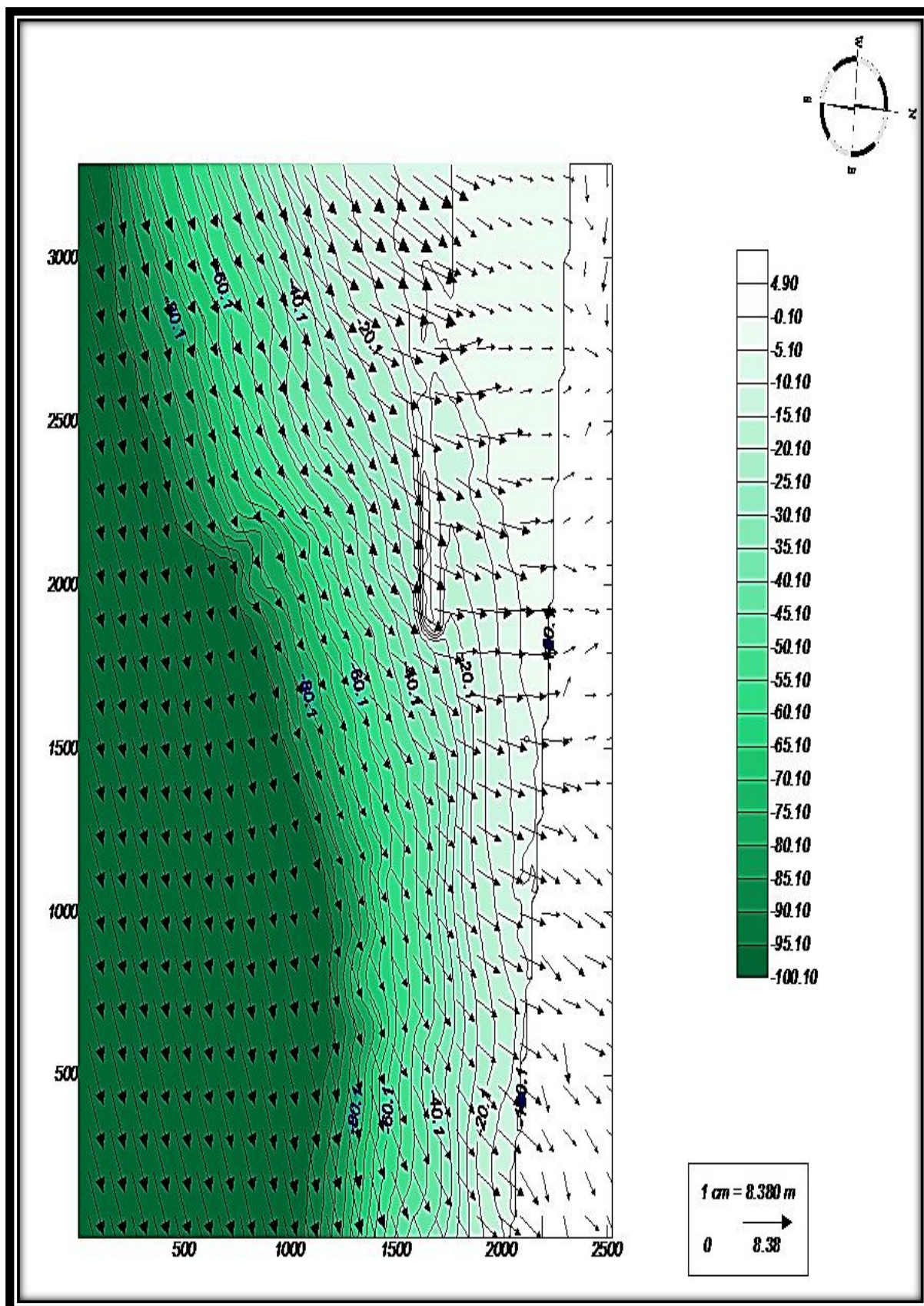


Figura 116 - Direção da onda, caso M0 - A1

AI.1.4.2. Caso A2

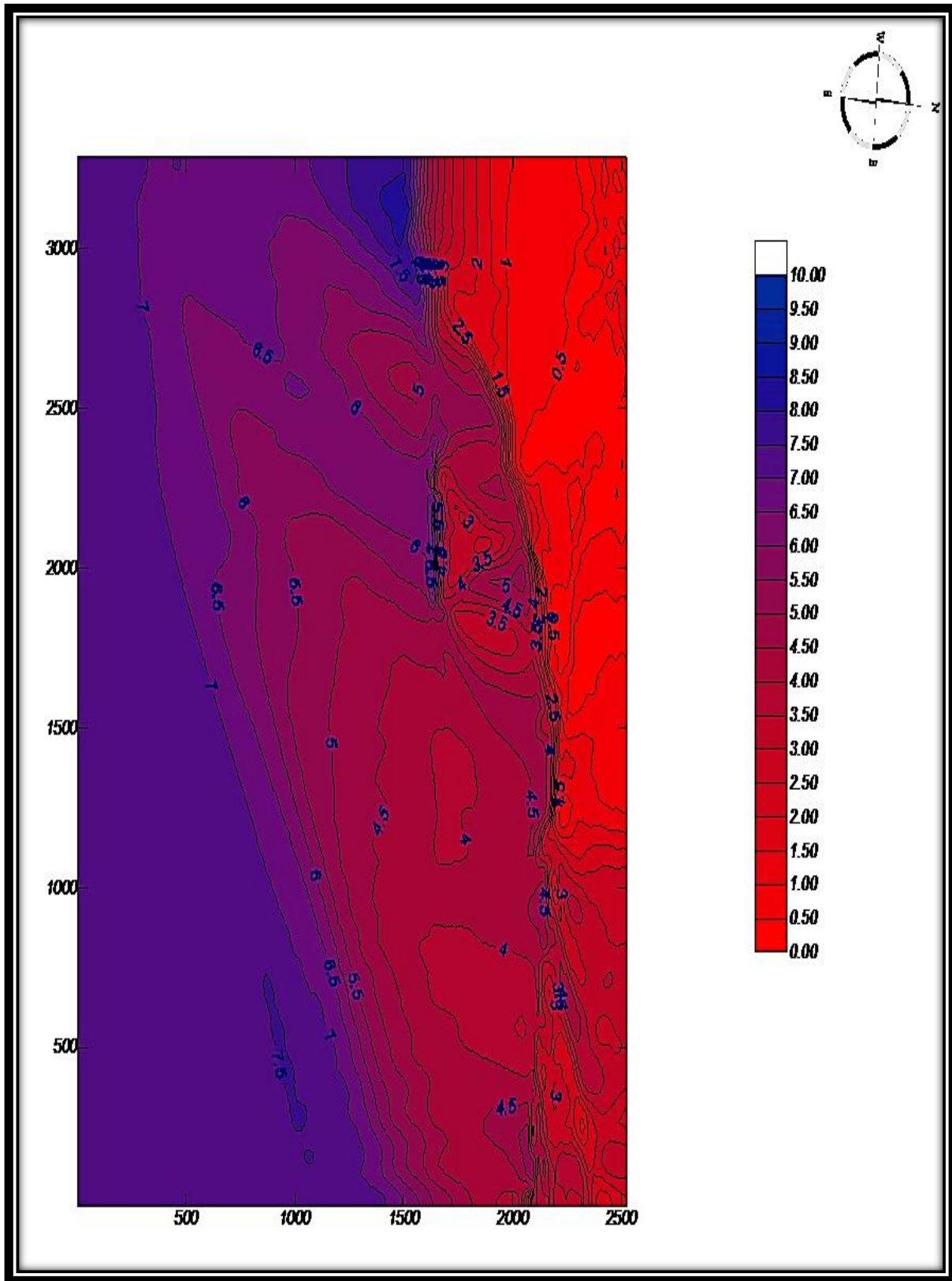


Figura 117 - Altura de onda, caso M0 - A2

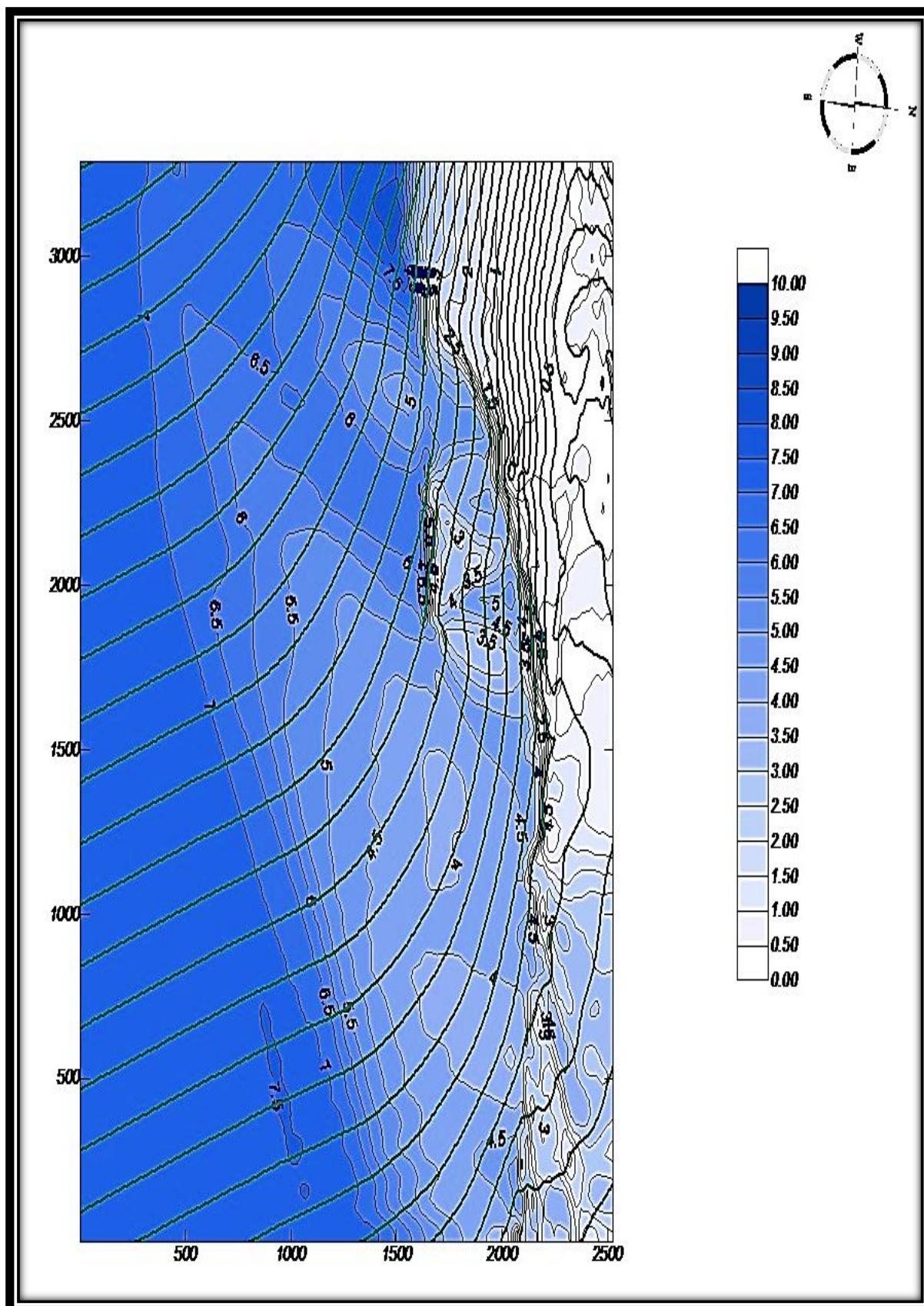


Figura 118 - Propagação da altura de onda, caso M0 - A2

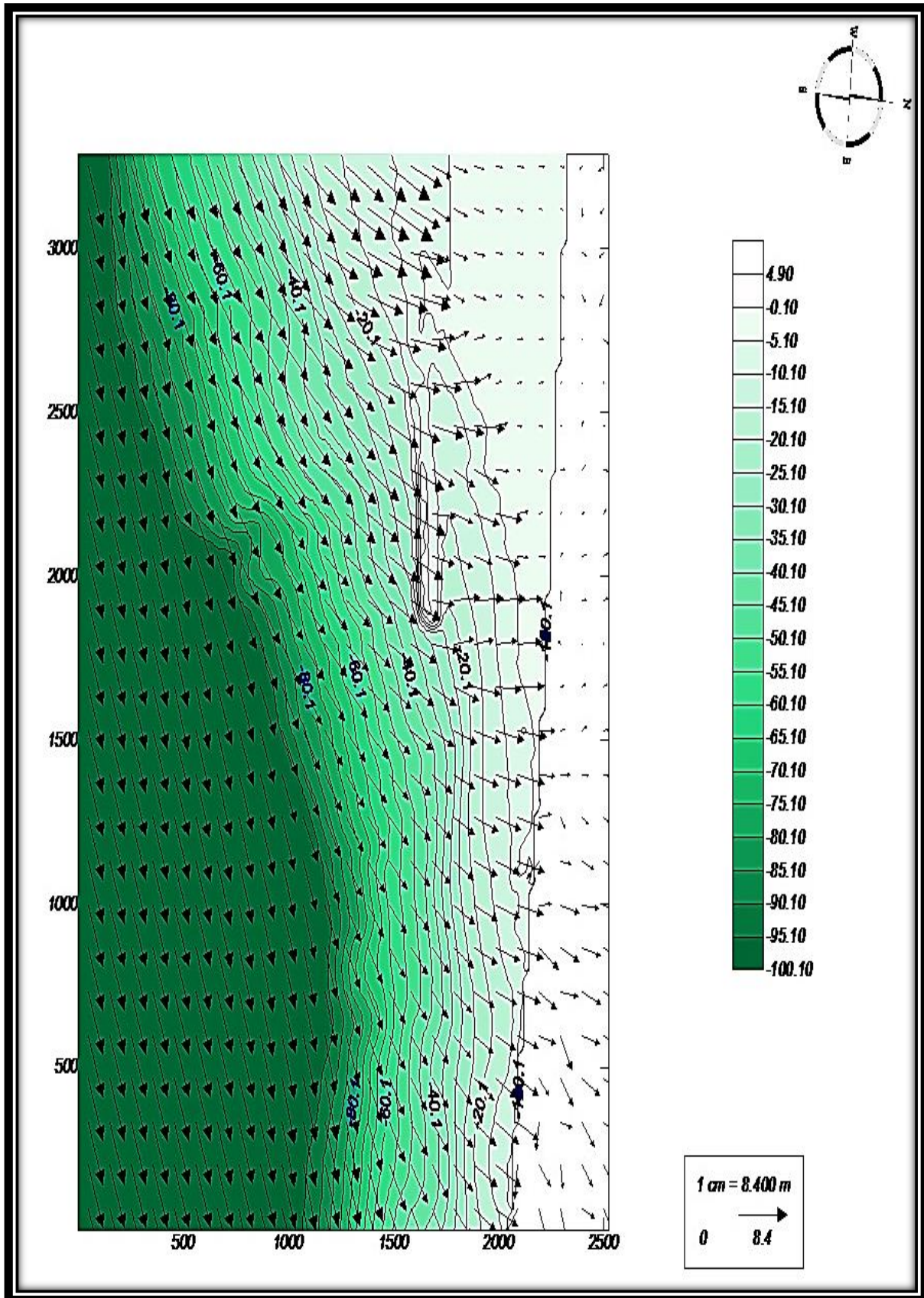


Figura 119 - Direção da onda, caso M0 - A2

Al.1.4.3. Caso B1

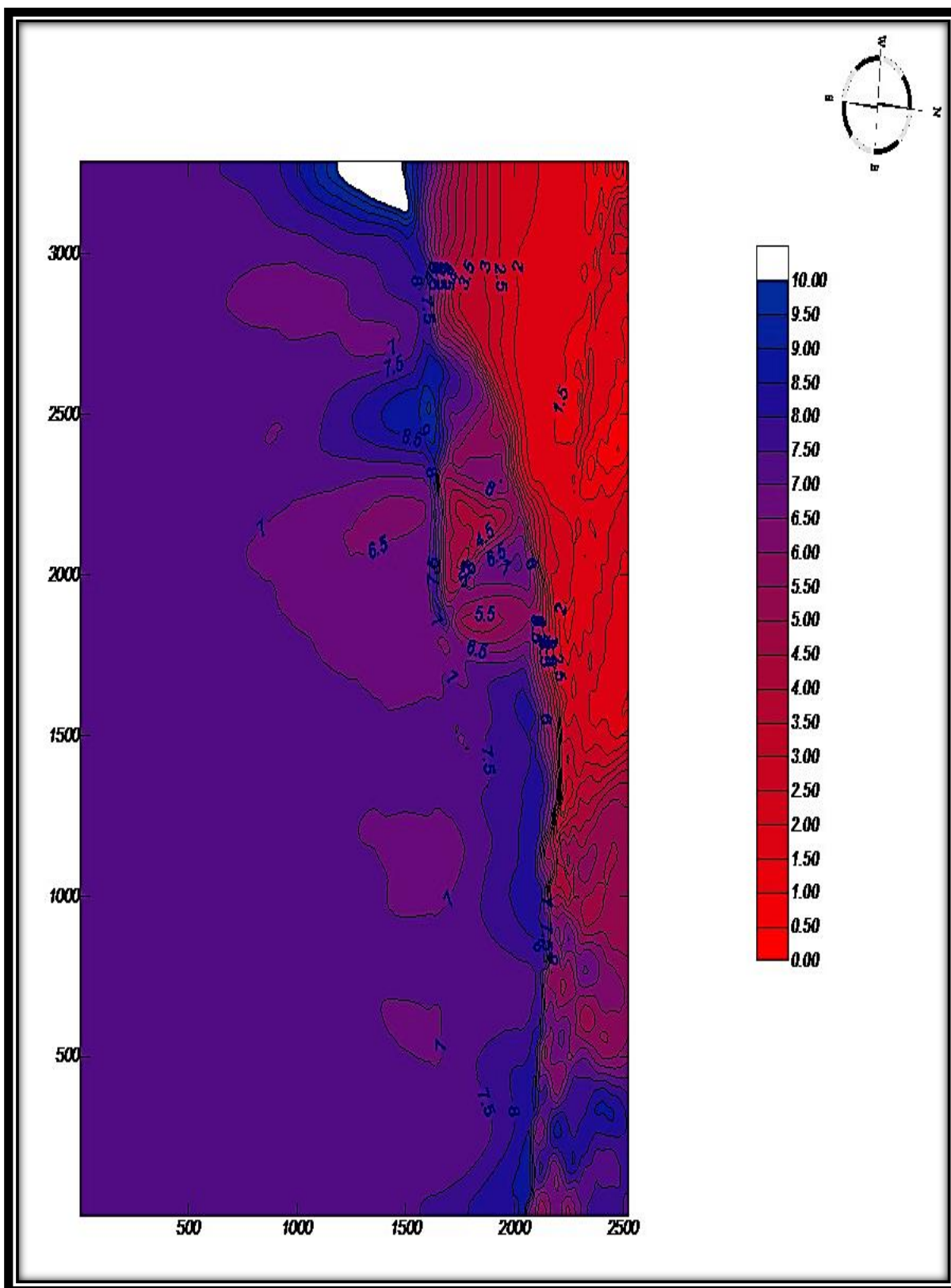


Figura 120 - Altura de onda, caso M0 - B1

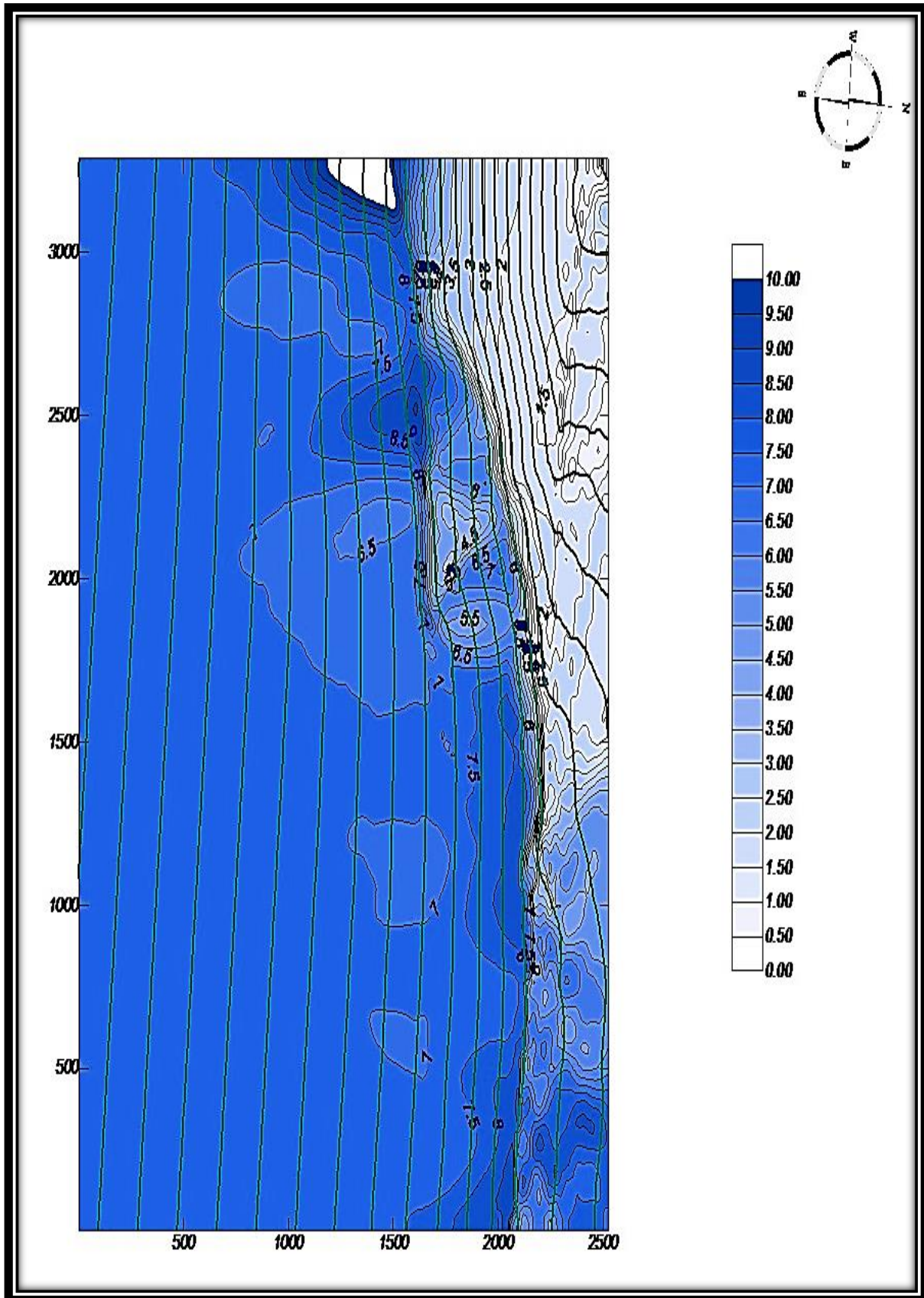


Figura 121 - Propagação da altura de onda, caso M0 - B1

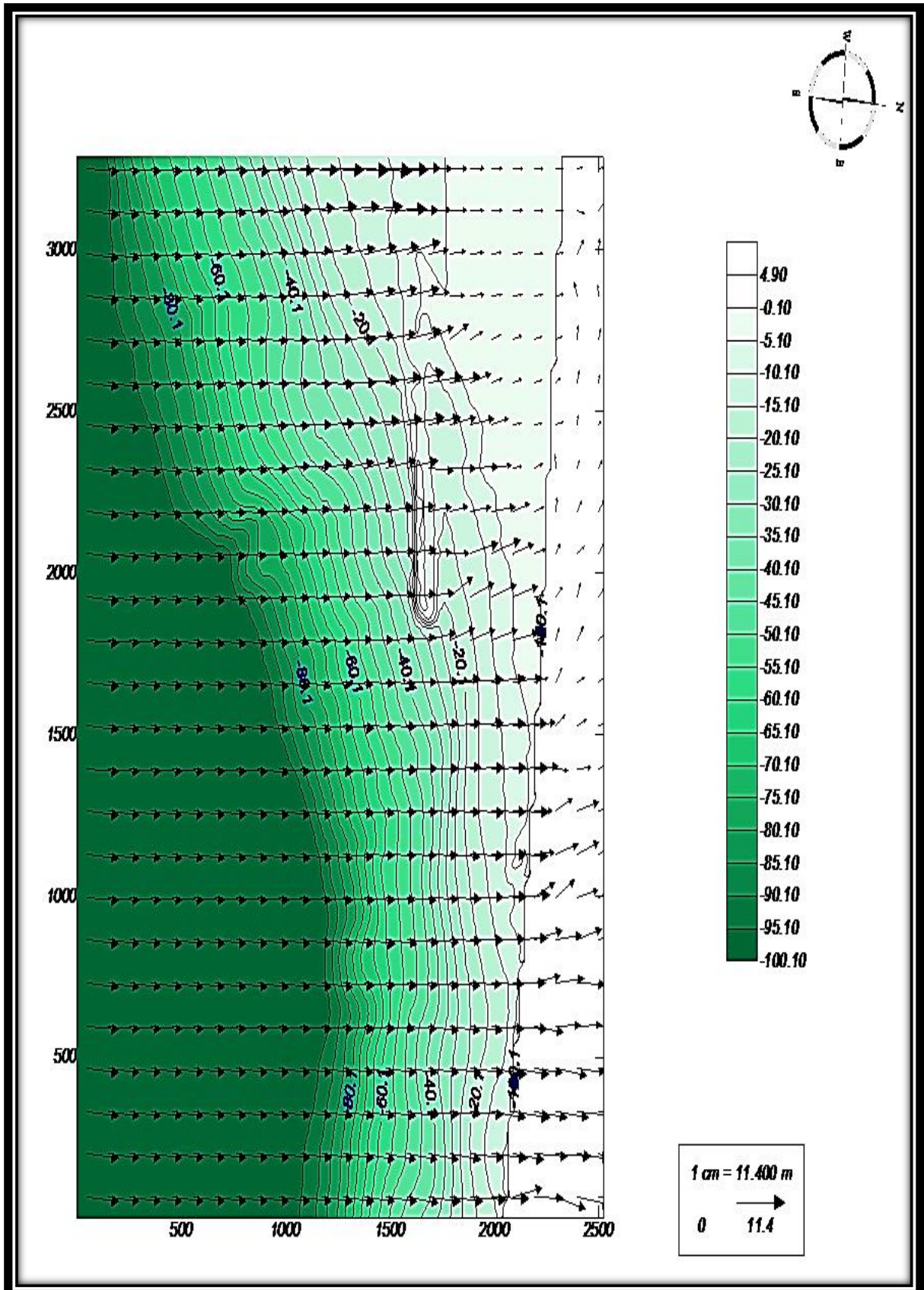


Figura 122 - Direção da onda, caso M0 - B1

Al.1.4.4. Caso B2

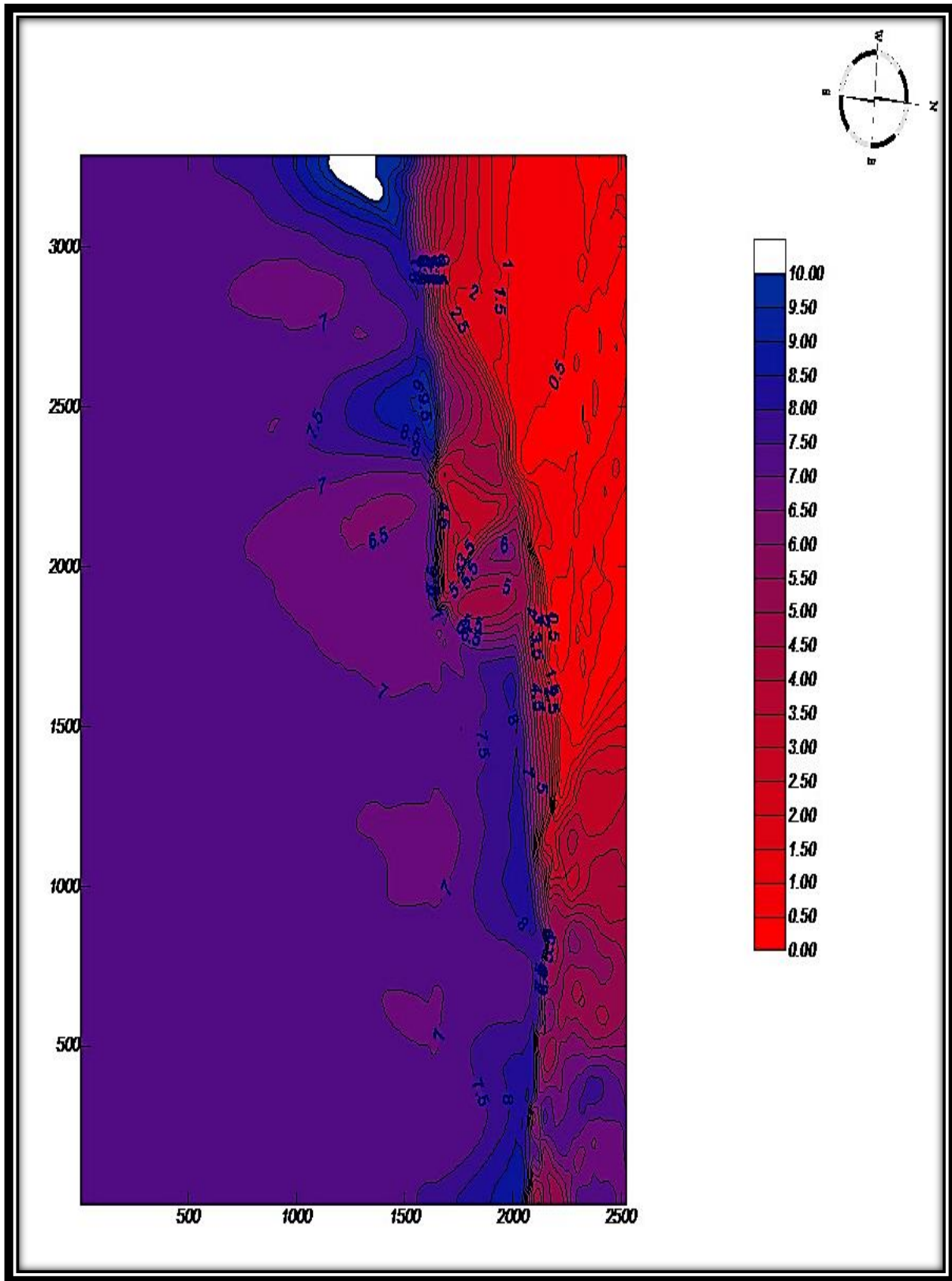


Figura 123 - Altura de onda, caso M0 - B2

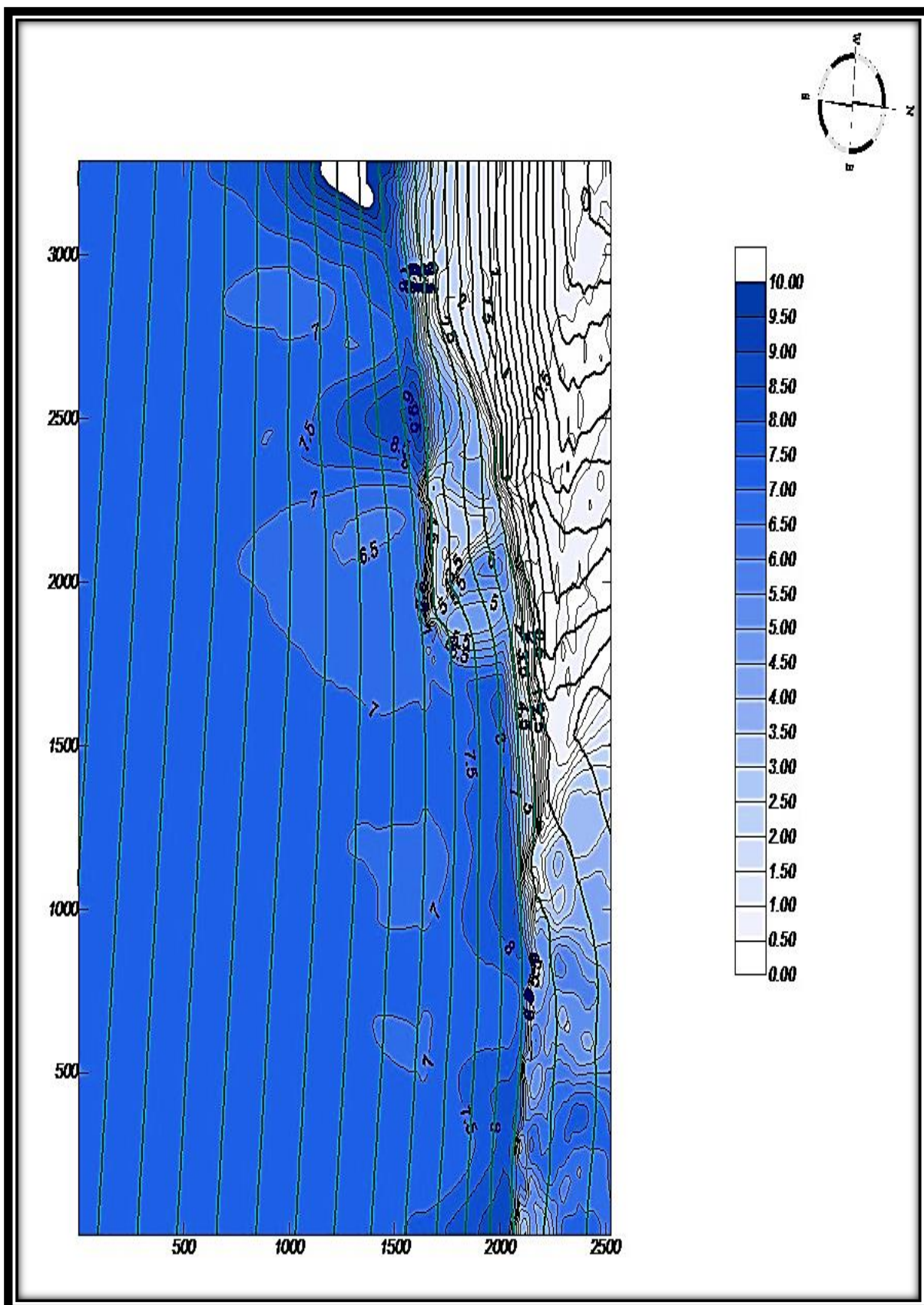


Figura 124 - Propagação da altura de onda, caso M0 - B2

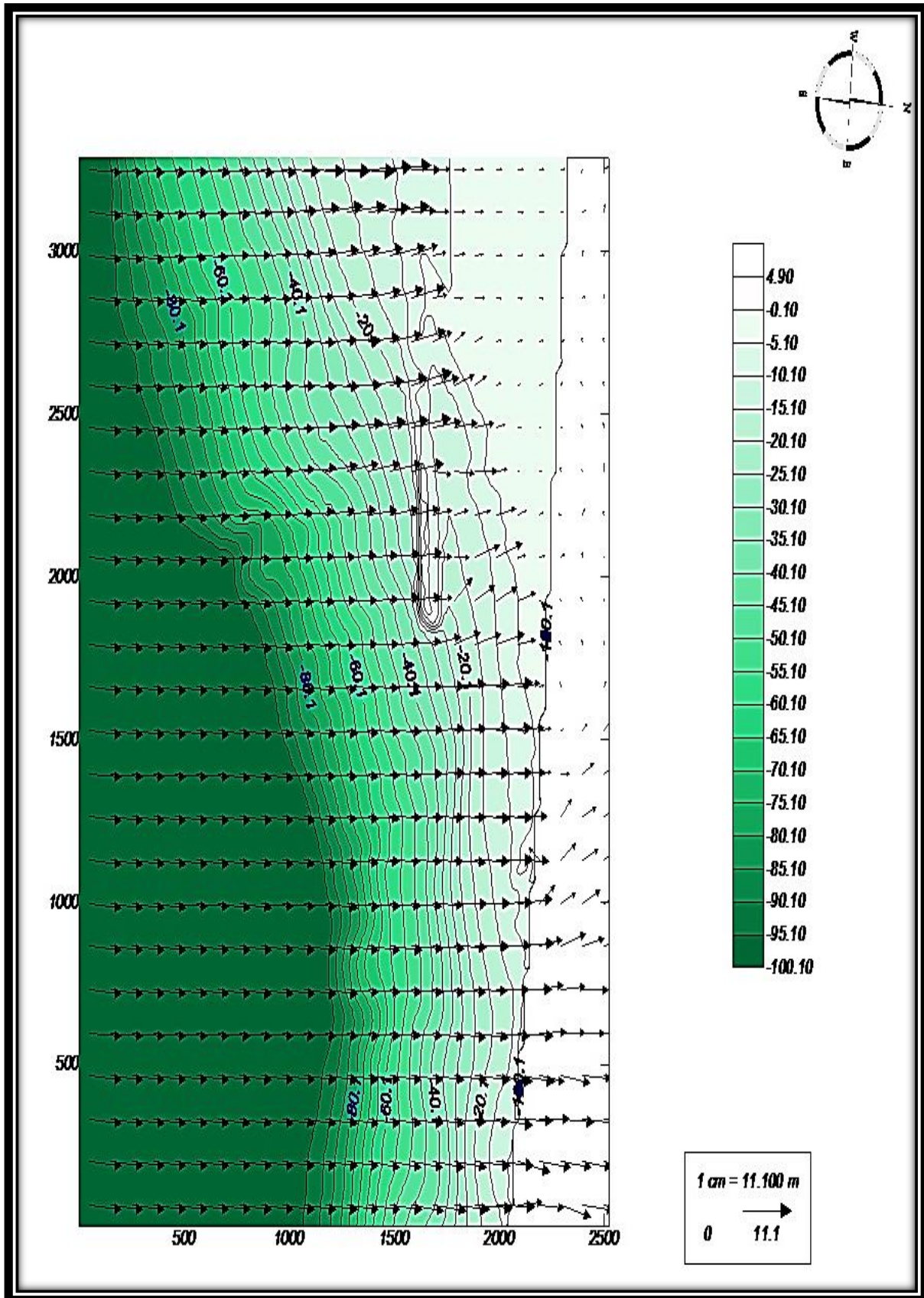


Figura 125 - Direção da onda, caso M0 - B2

Al.1.4.5. Caso C2

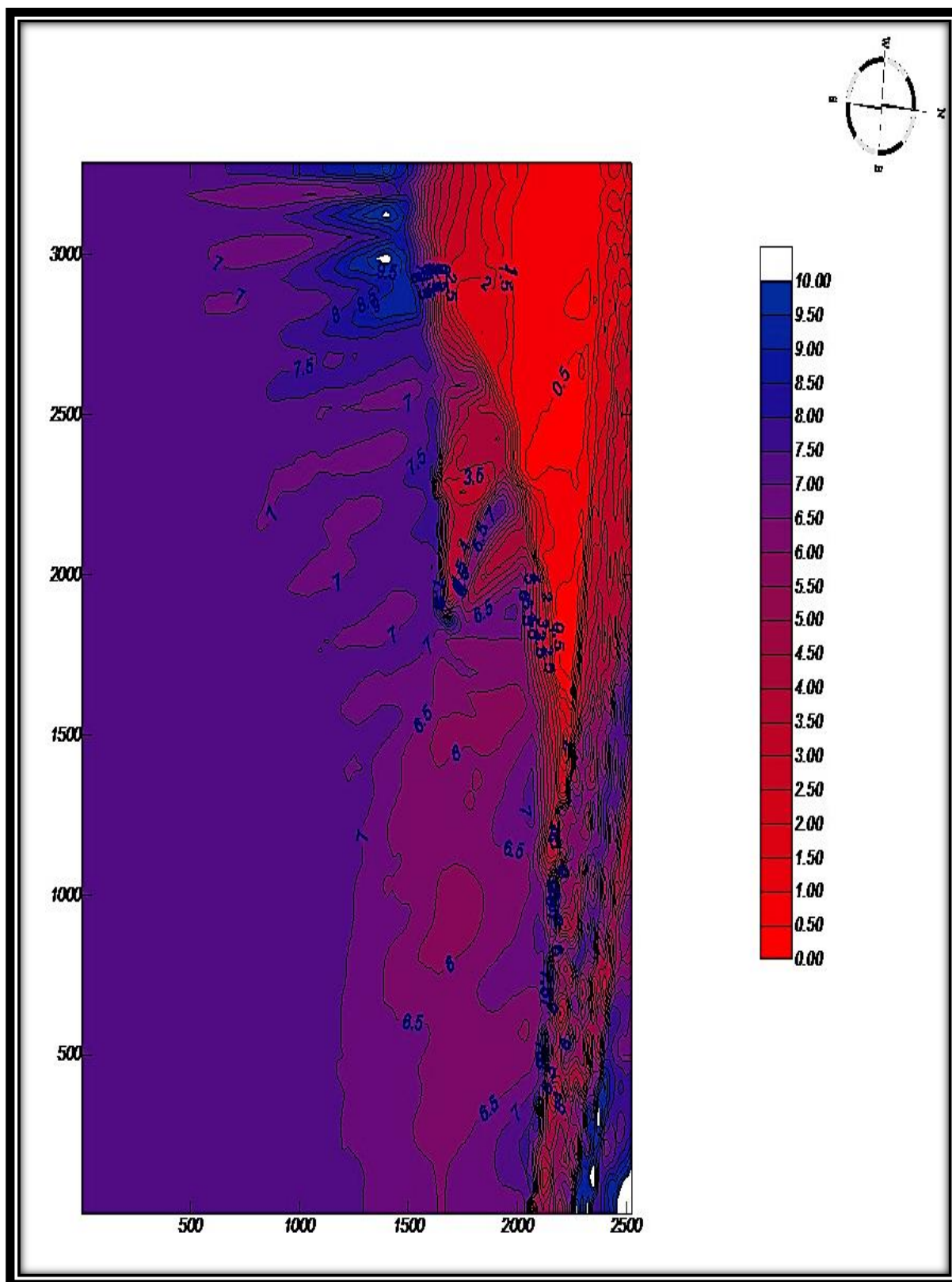


Figura 126 - Altura de onda, caso M0 - C2

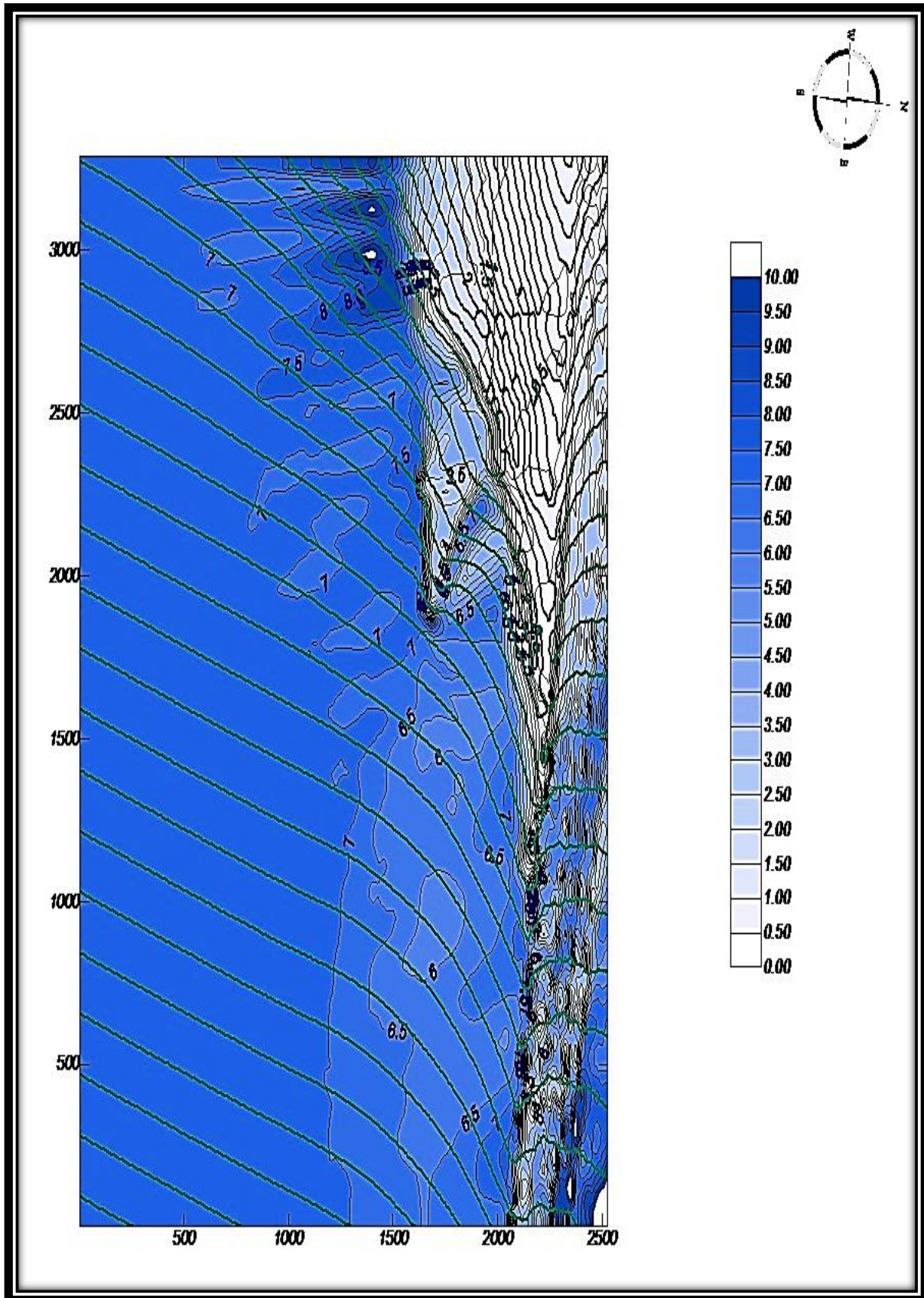


Figura 127 - Propagação da altura de onda, caso M0 - C2

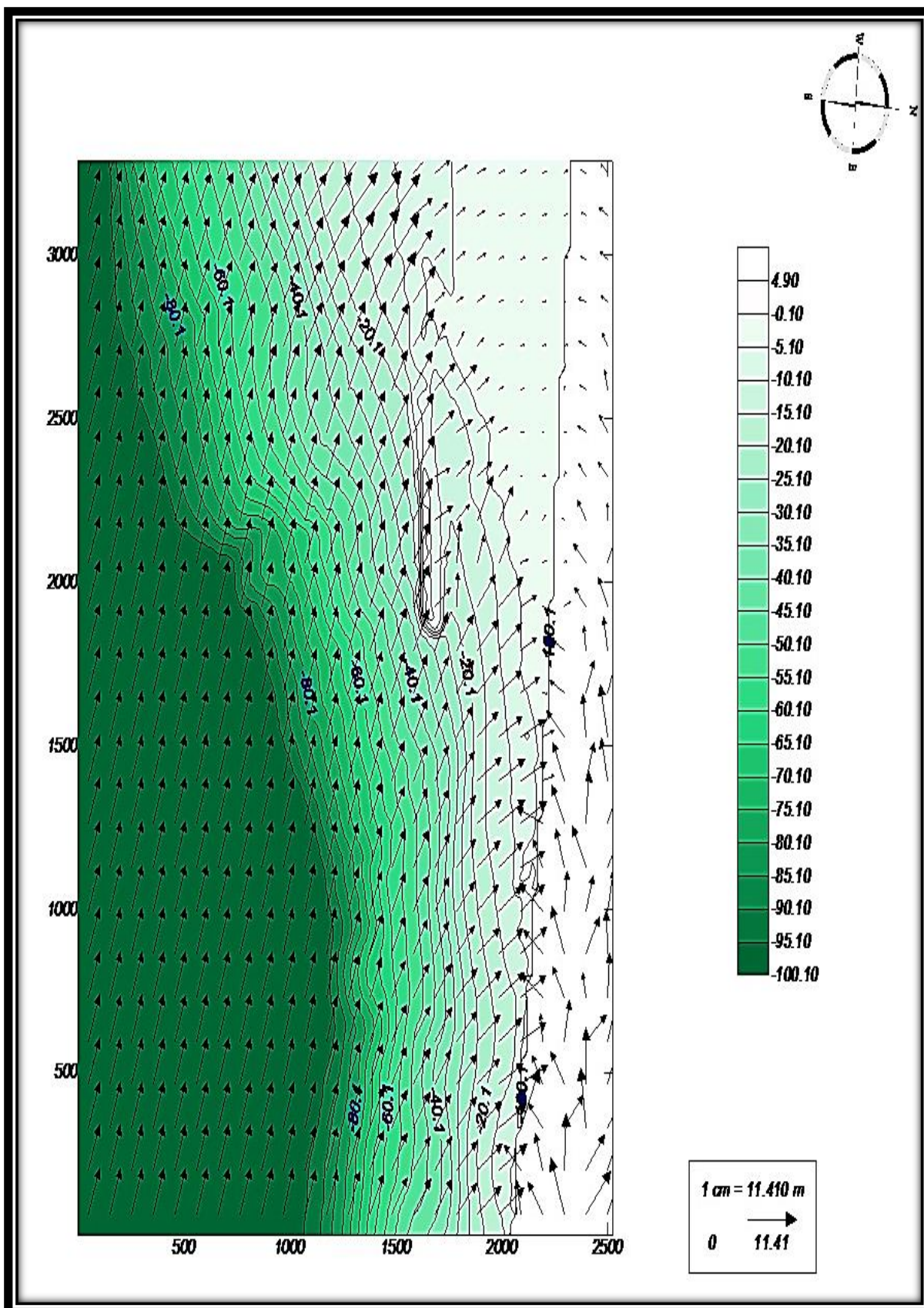


Figura 128 - Direção da onda, caso M0 - C2

ANEXO II
PORTO DO CANIÇAL

AI.2. CLIMA MARITIMO

AI.2.1. Regime Anual

Tabela 23 - Registos das alturas significativas e dos períodos de pico do Caniçal

H _{M0} (m)	T _P (s)											TOTAL
	≤2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	>20	
≤0,5	-	37	718	832	519	1409	1863	1353	259	110	-	7100
1,0	-	222	1498	2734	183	231	560	619	168	45	-	6260
1,5	-	10	182	634	33	8	8	5	1	1	-	882
2,0	-	-	29	184	26	3	-	-	-	-	-	242
2,5	-	-	1	35	21	-	-	-	-	-	-	57
3,0	-	-	-	14	10	3	-	-	-	-	-	27
3,5	-	-	-	4	33	3	-	-	-	-	-	40
4,0	-	-	-	2	4	-	-	-	-	-	-	6
4,5	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	2
5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
>6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
TOTAL	0	269	2428	4440	830	1657	2431	1977	428	156	0	14616

Tabela 24 - Registos das direções das alturas significativas do Caniçal

DIREÇÃO	H _{M0} (m)													TOTAL
	≤0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	>6,0	
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
NNE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
NE	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ENE	4	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16
E	472	1391	168	13	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2045
ESE	1248	2412	256	37	3	-	-	-	-	-	-	-	-	3956
SE	691	360	62	18	4	-	1	-	-	-	-	-	-	1136
SSE	1027	382	43	21	6	5	7	-	-	-	-	-	-	1491
S	1899	792	143	68	16	10	9	1	-	-	-	-	-	2938
SSW	1620	875	206	85	27	12	22	5	2	-	-	-	-	2854
SW	75	17	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	95
WSW	58	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77
W	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
WNW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
NW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
NNW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
TOTAL	7100	6260	882	242	57	27	40	6	2	0	0	0	0	14616

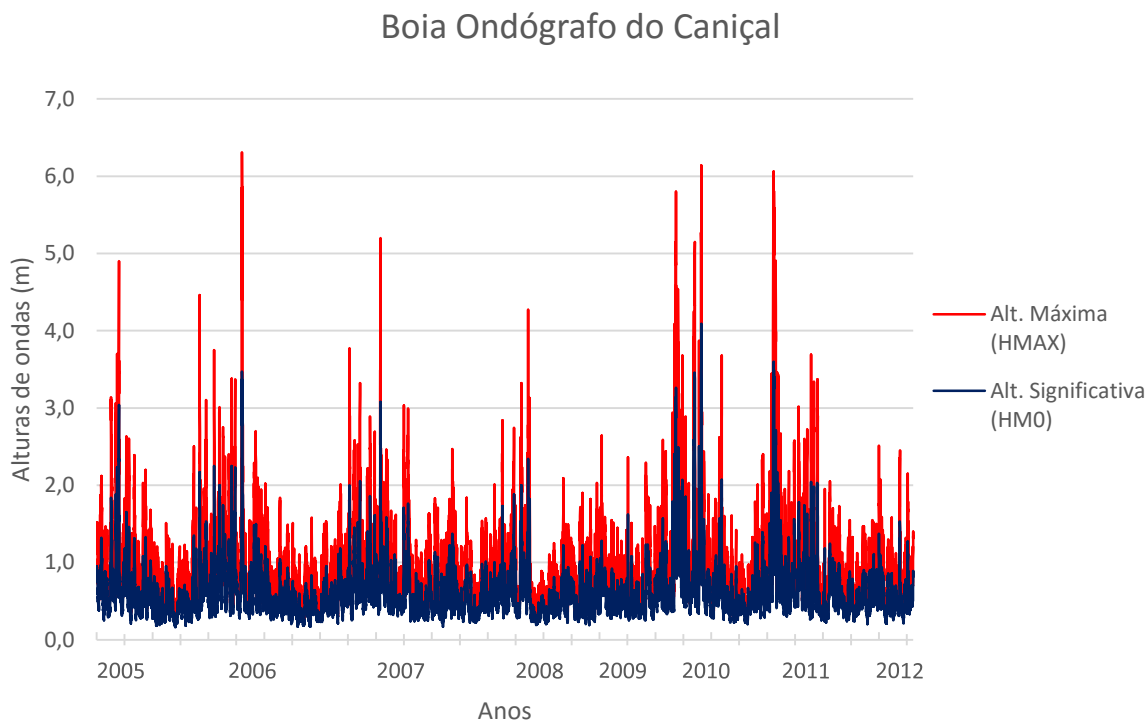


Figura 129 - Registo anual das alturas significativa e das alturas máximas do Caniçal

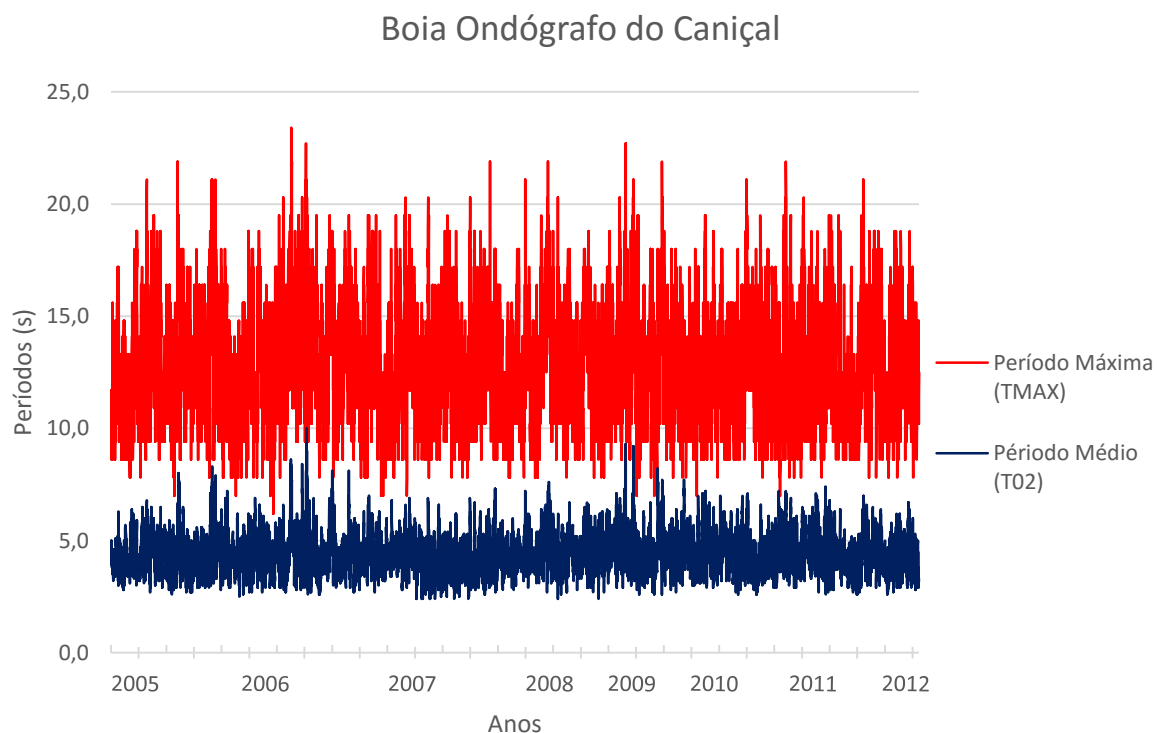


Figura 130 - Registo anual do período medio e do período máximo do Caniçal

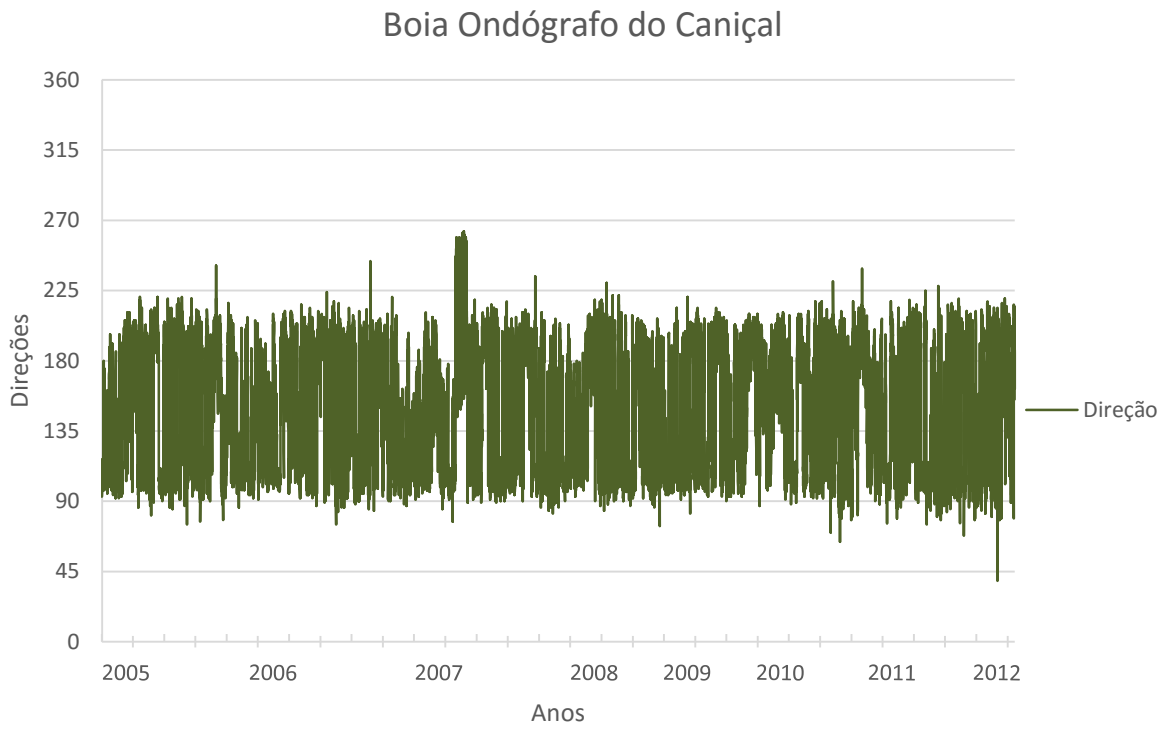


Figura 131 - Registo anual das direções de onda do Caniçal

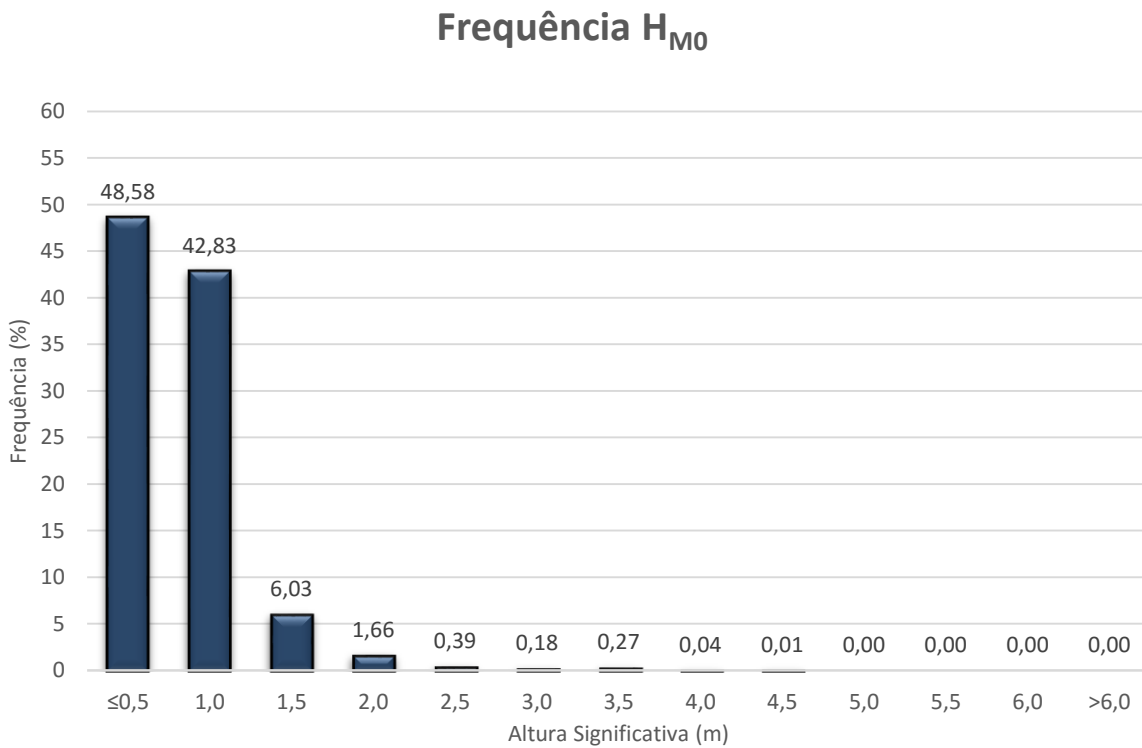


Figura 132 - Frequência da altura de onda significativa anual do Caniçal

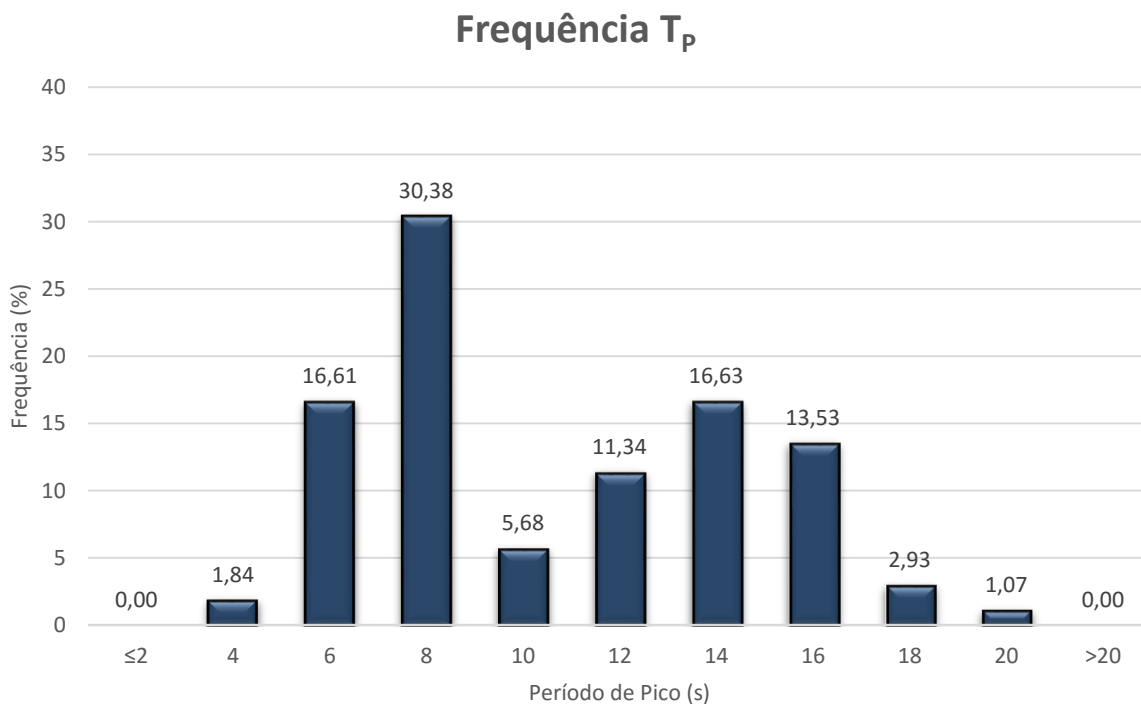


Figura 133 - Frequência do período de pico anual do Caniçal

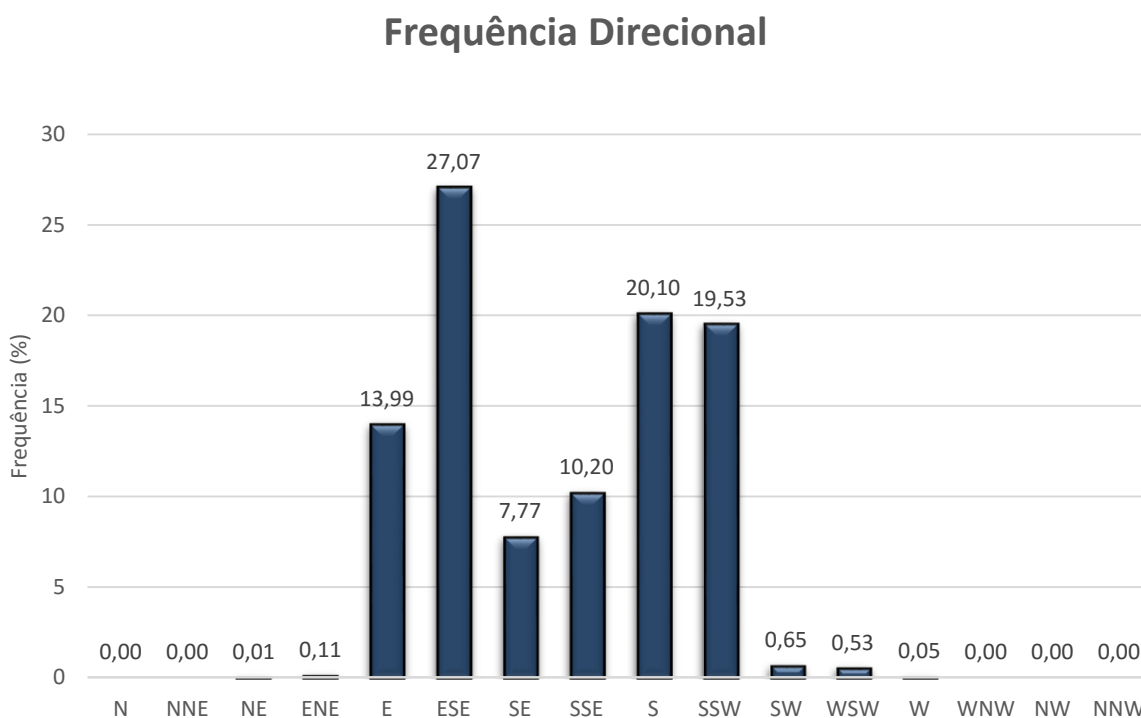


Figura 134 - Frequência direcional anual do Caniçal

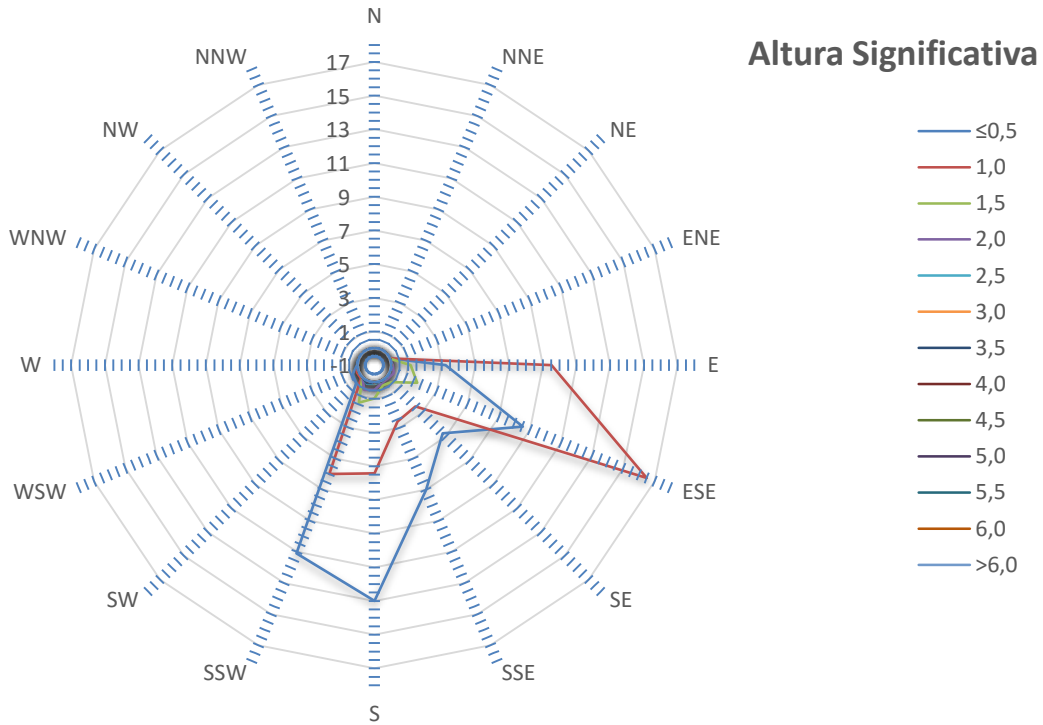


Figura 135 - Direção da altura de onda significativa anual do Caniçal

AI.2.2. Regime Estacional

AI.2.2.1. primavera

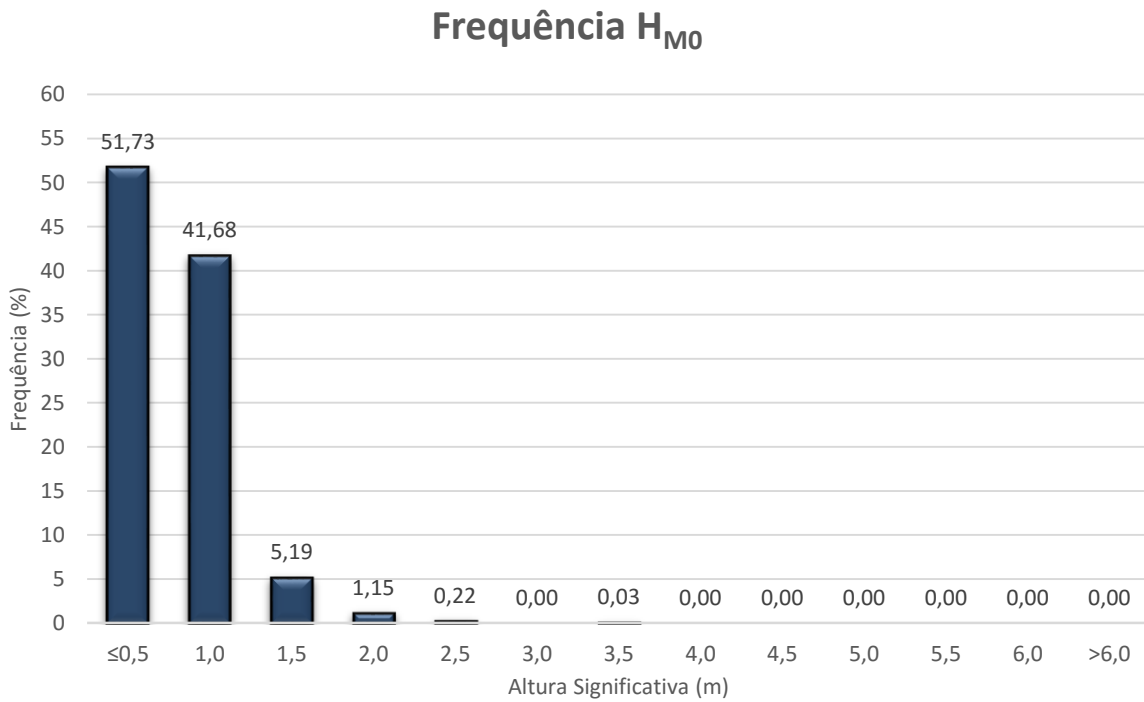


Figura 136 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Caniçal (primavera)

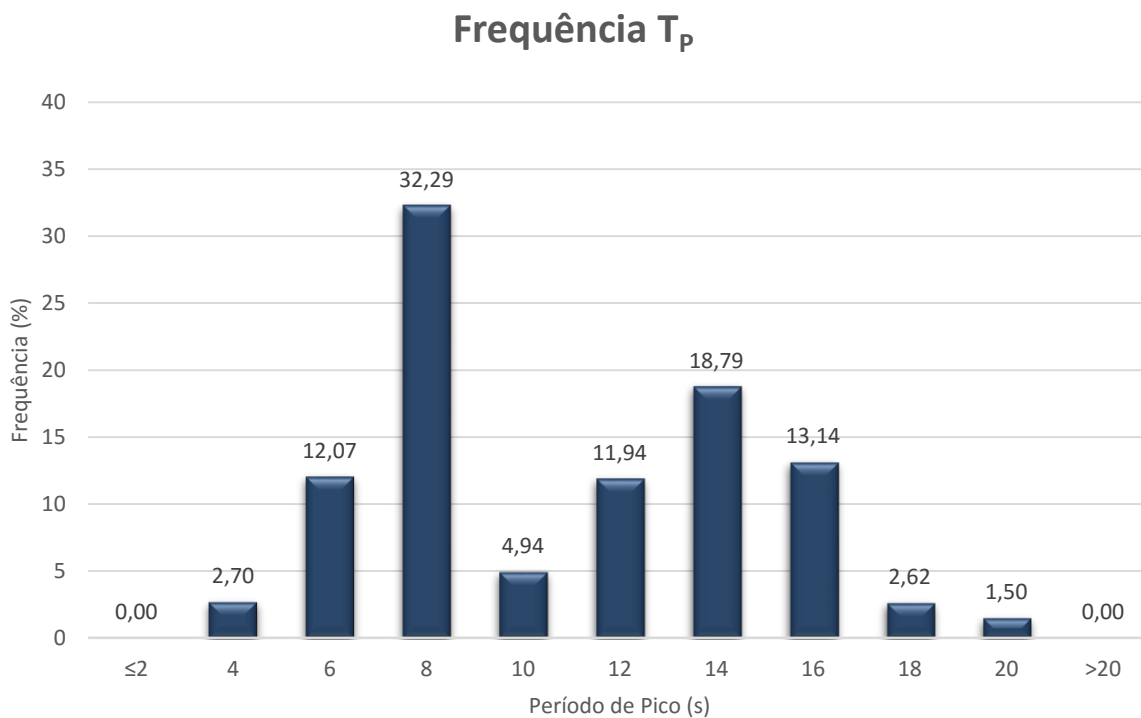


Figura 137 - Frequência do período de pico estacional do Caniçal (primavera)

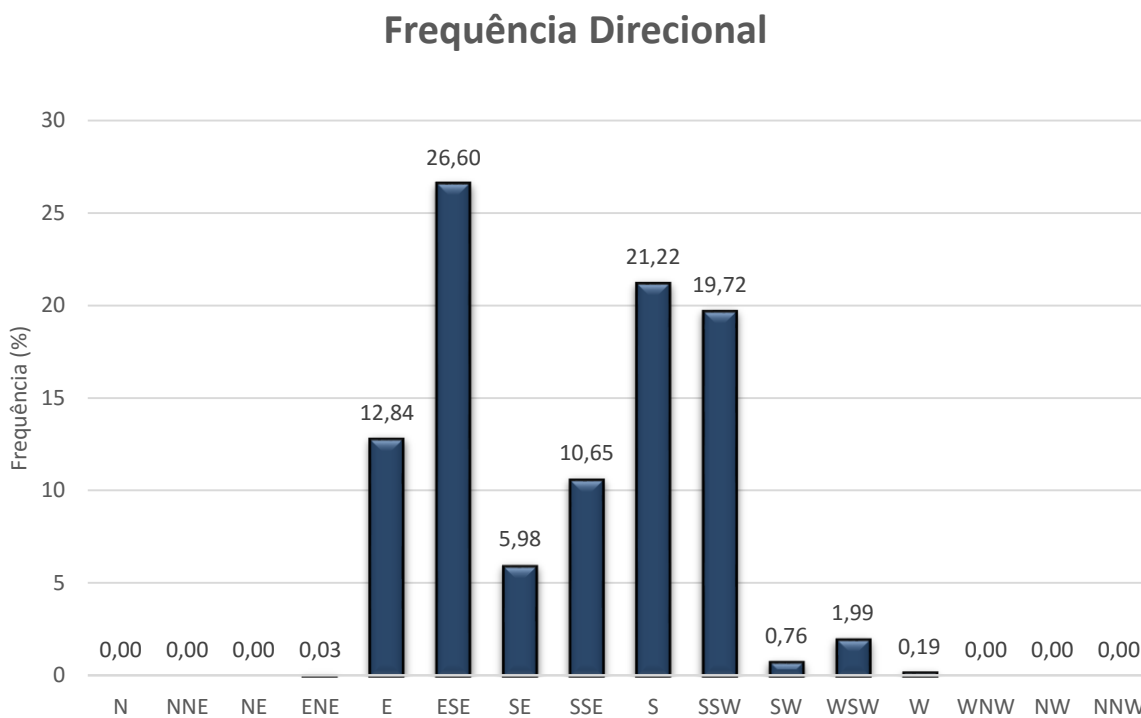


Figura 138 - Frequência direcional estacional do Caniçal (primavera)

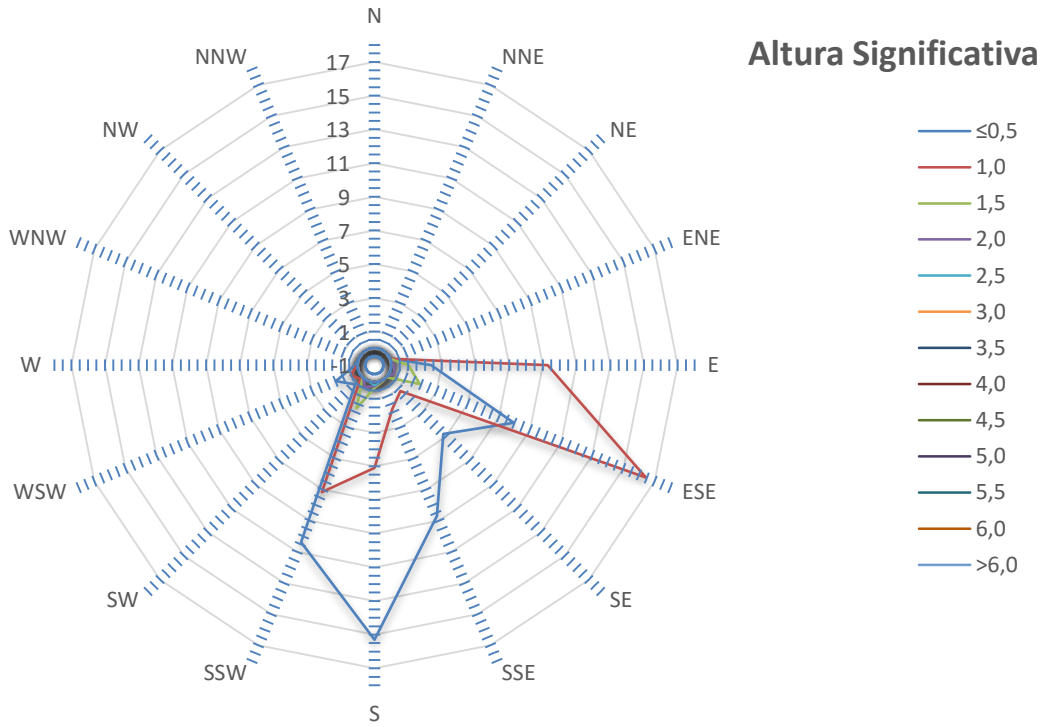


Figura 139 - Direção da altura de onda significativa estacional do Caniçal (primavera)

Al.2.2.2. verão

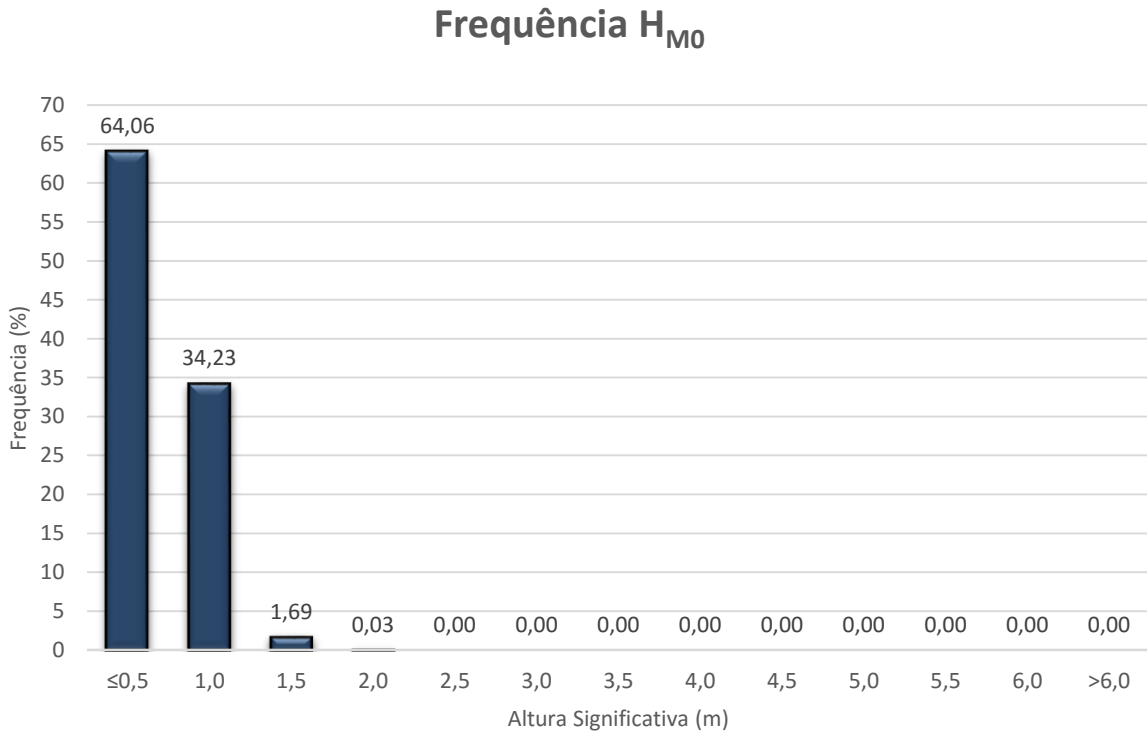


Figura 140 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Caniçal (verão)

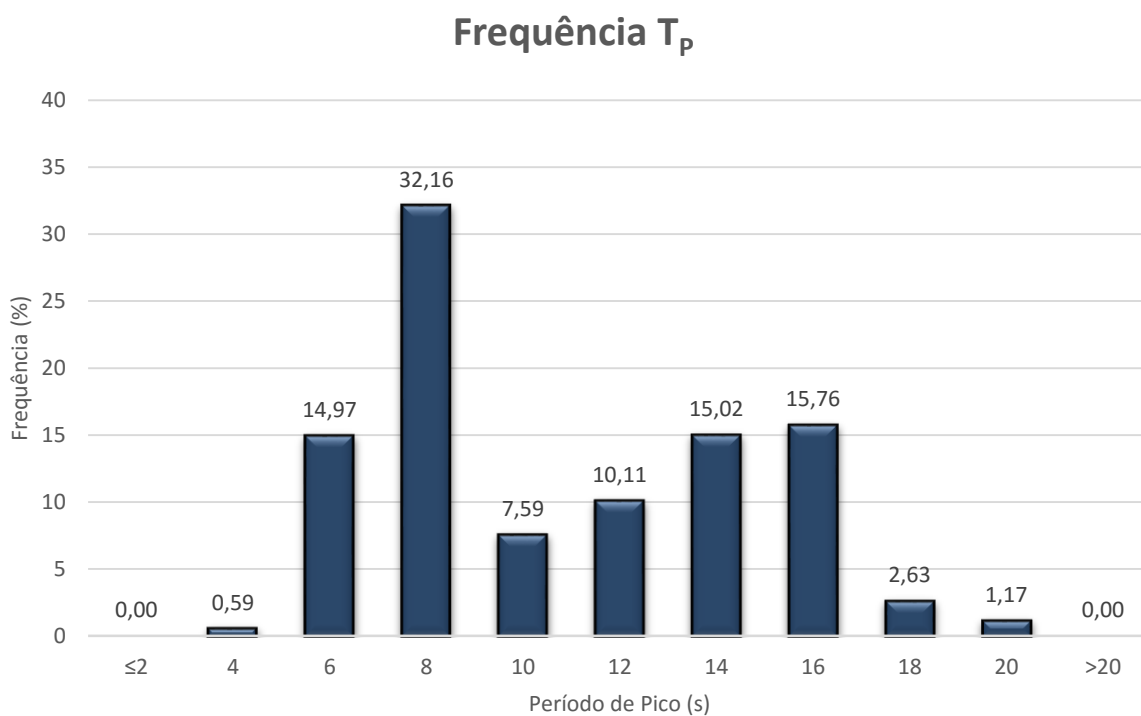


Figura 141 - Frequência do período de pico estacional do Caniçal (verão)

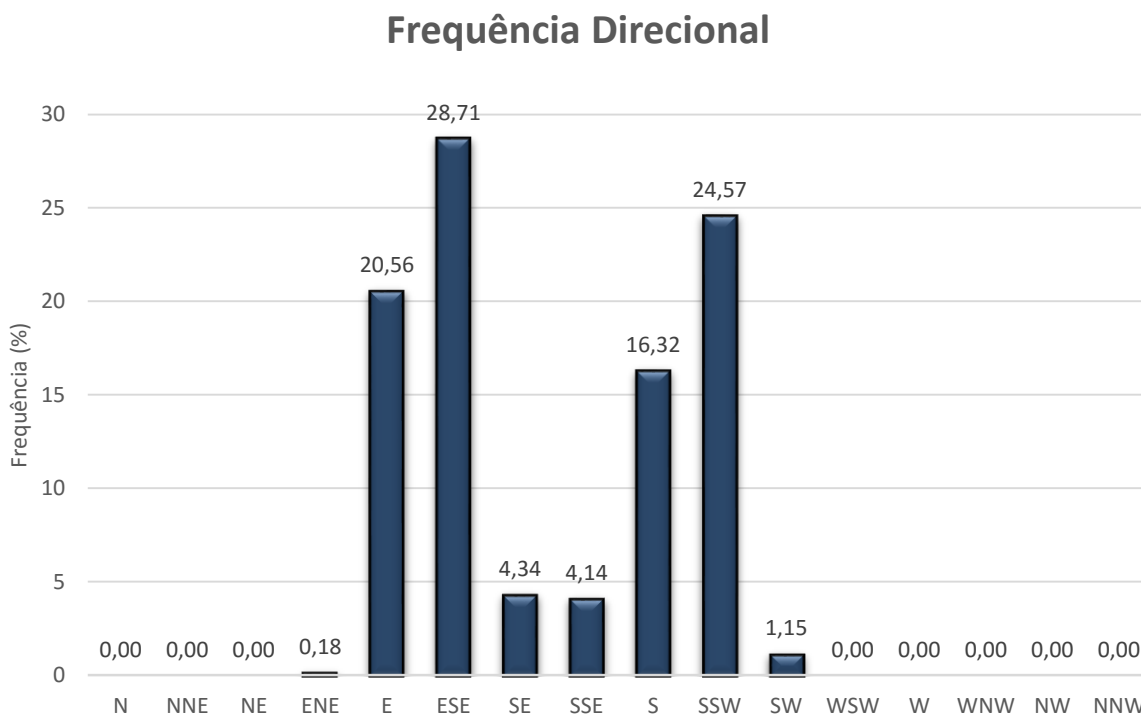


Figura 142 - Frequência direcional estacional do Caniçal (verão)

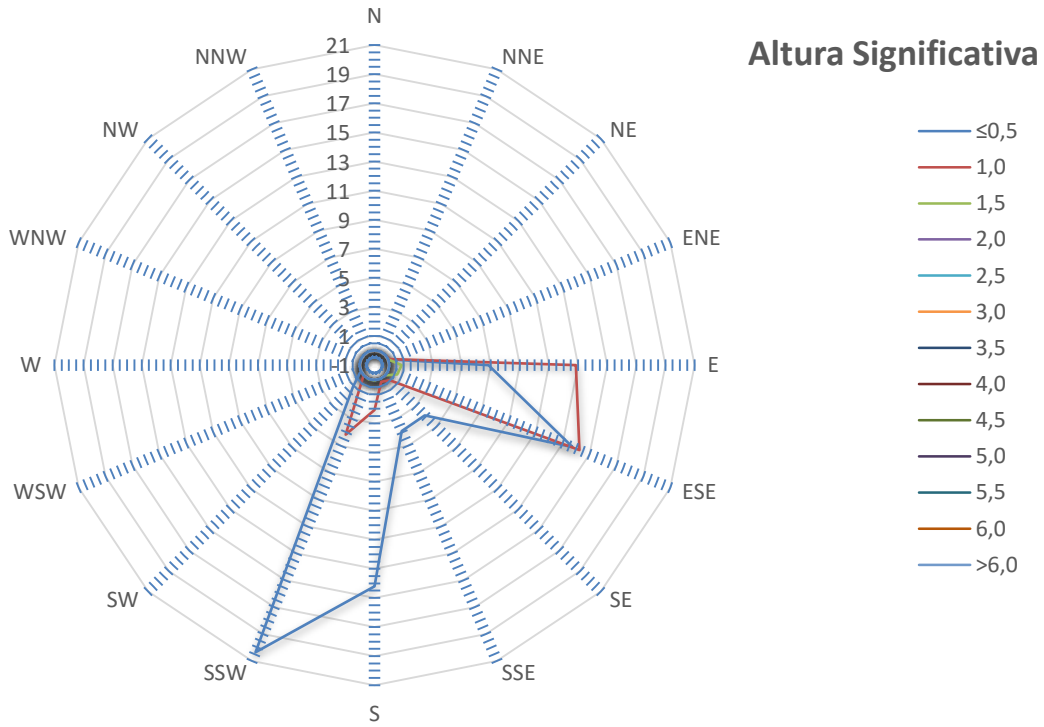


Figura 143 - Direção da altura de onda significativa estacional do Caniçal (verão)

Al.2.2.3. outono

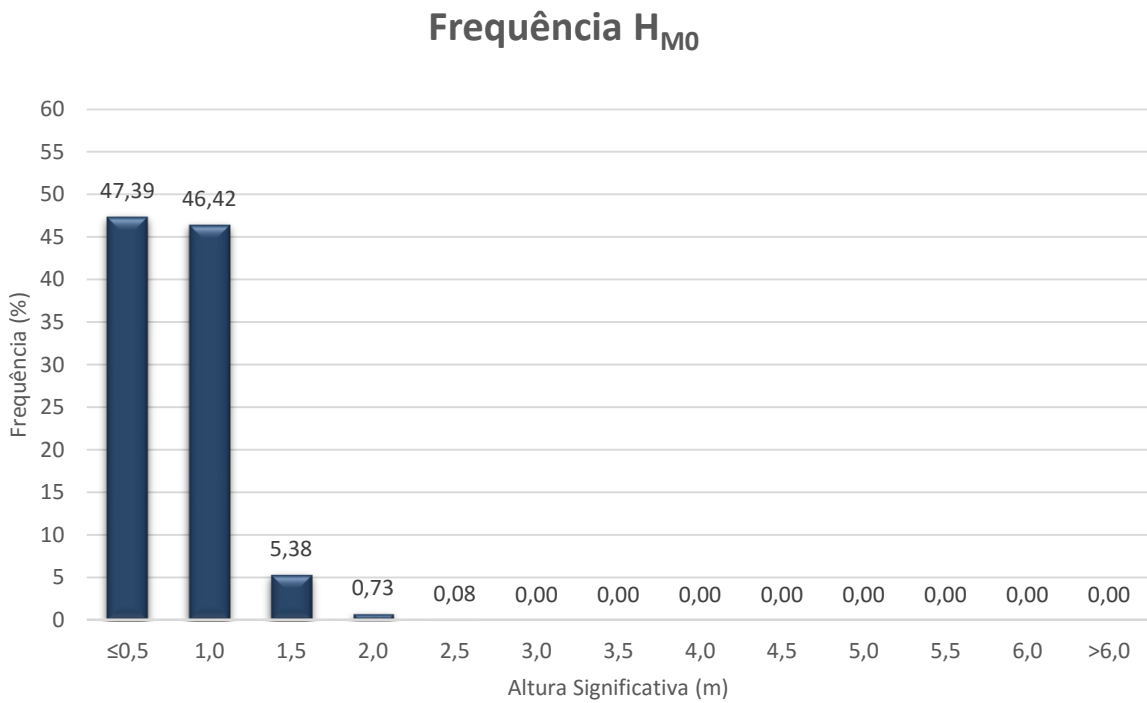


Figura 144 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Caniçal (outono)

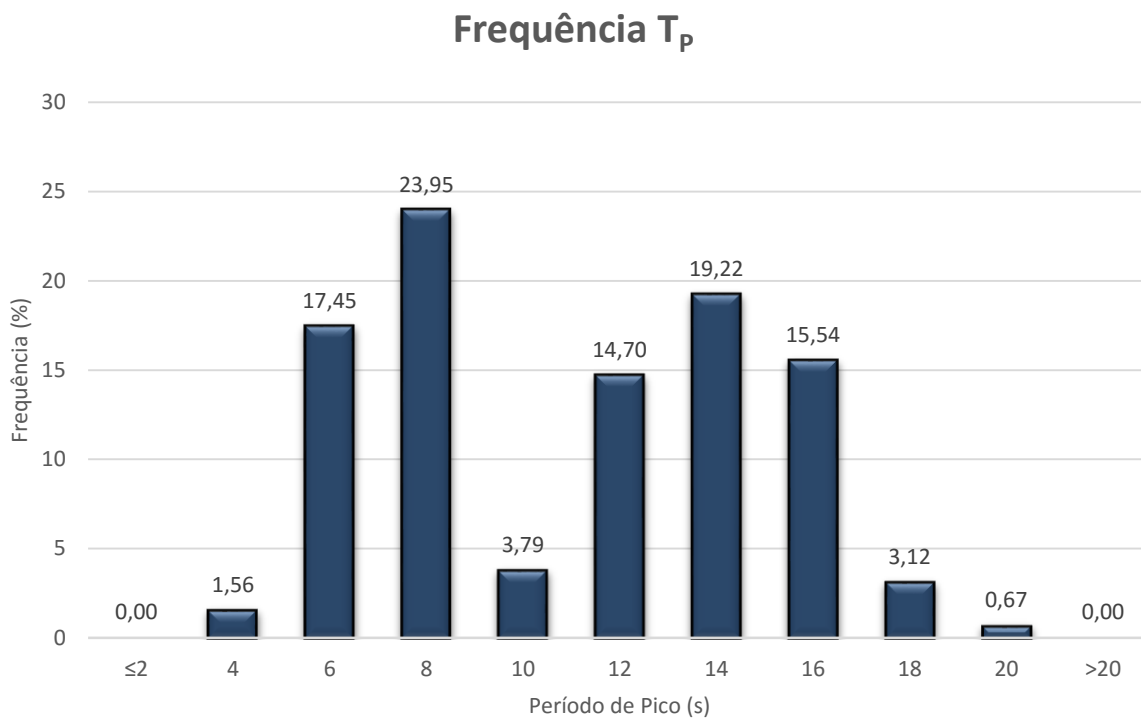


Figura 145 - Frequência do período de pico estacional do Caniçal (outono)

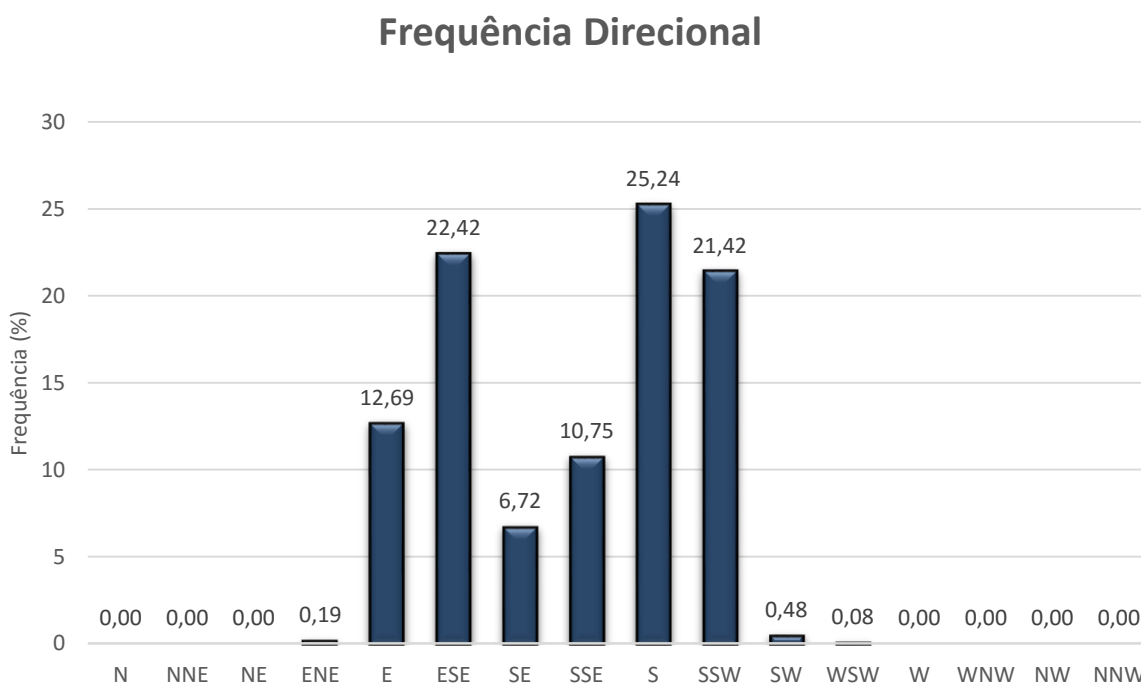


Figura 146 - Frequência direcional estacional do Caniçal (outono)

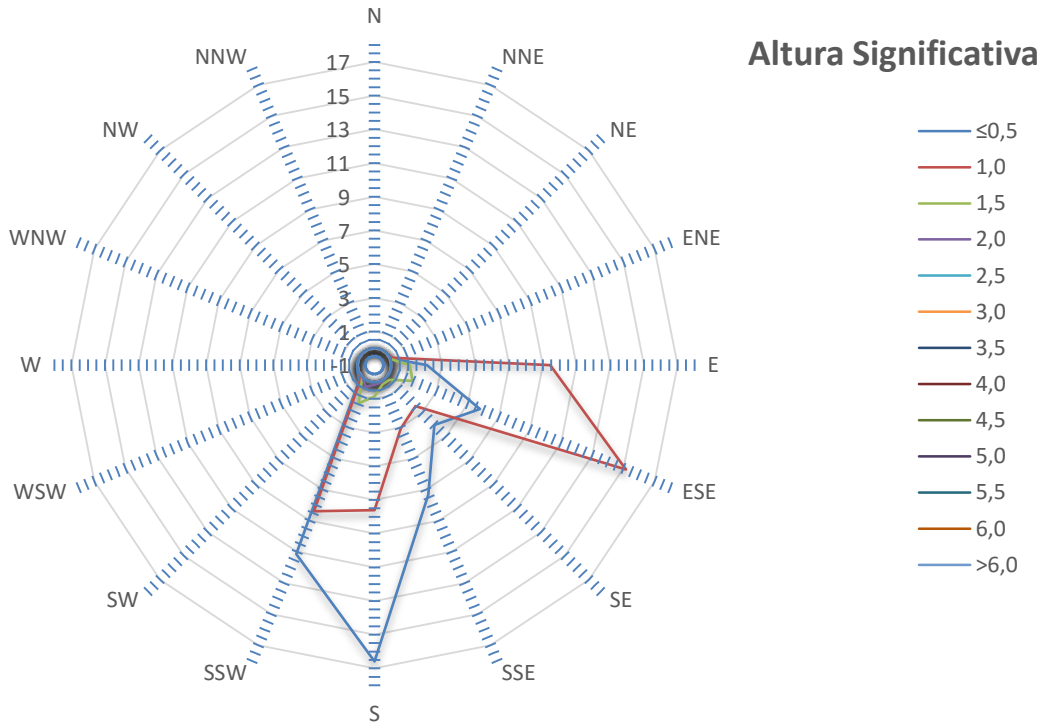


Figura 147 - Direção da altura de onda significativa estacional do Caniçal (outono)

Al.2.2.3. inverno

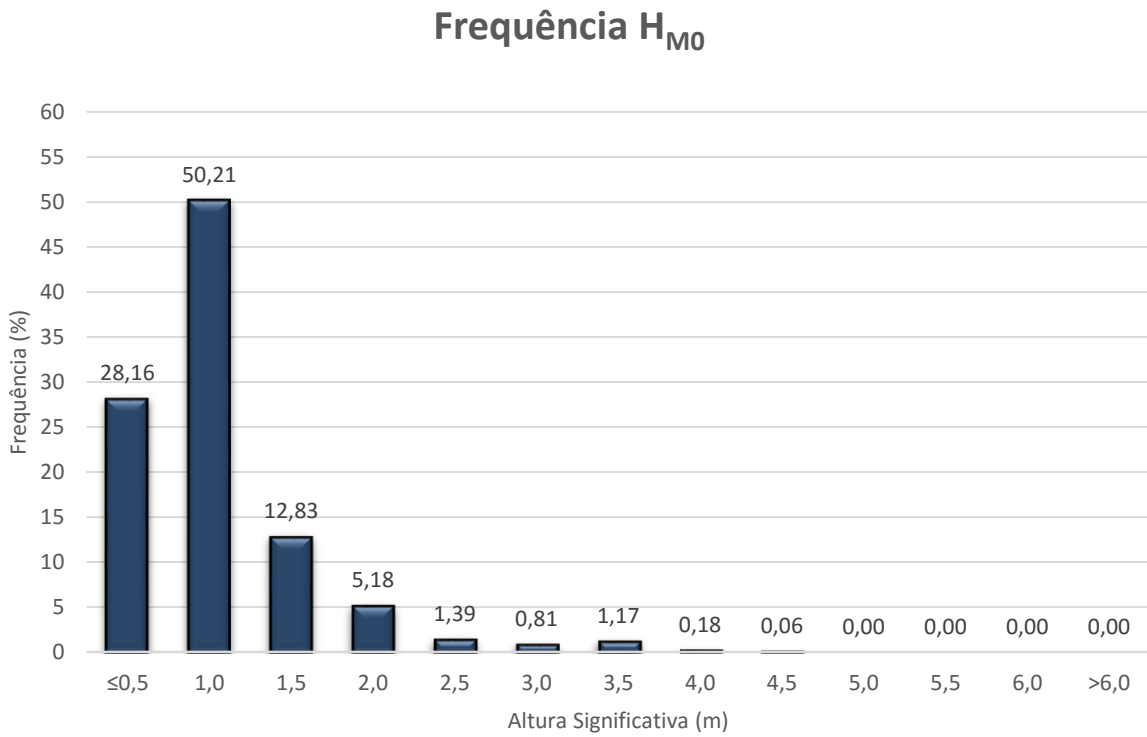


Figura 148 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Caniçal (inverno)

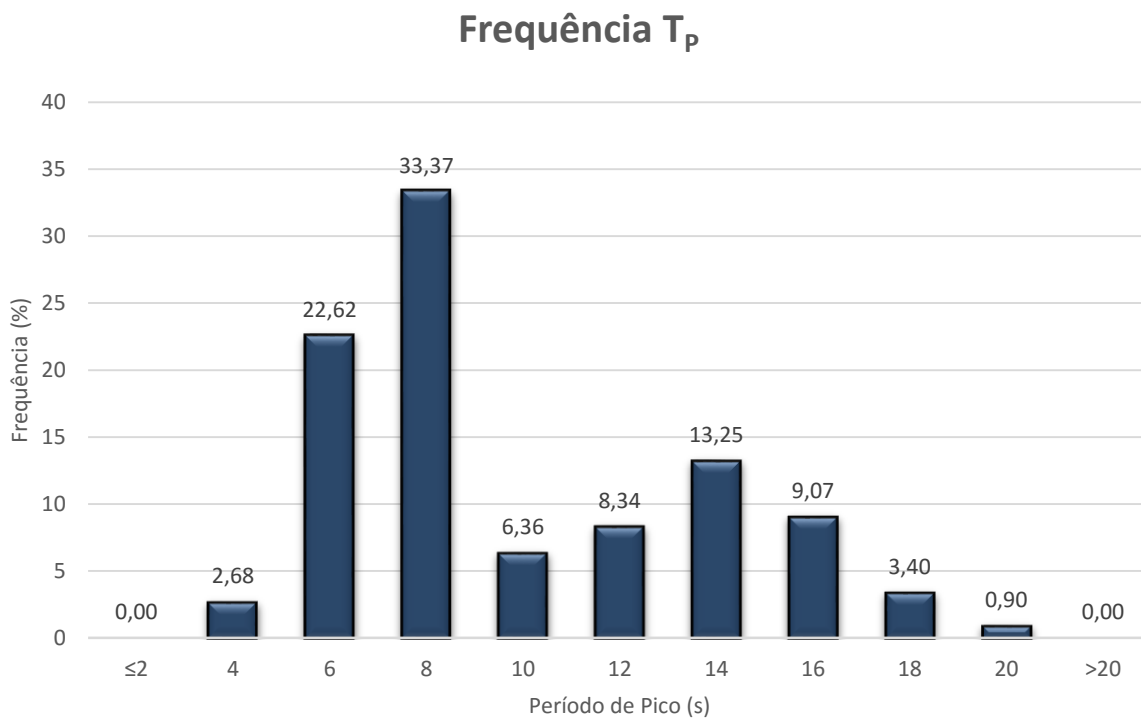


Figura 149 - Frequência do período de pico estacional do Caniçal (inverno)

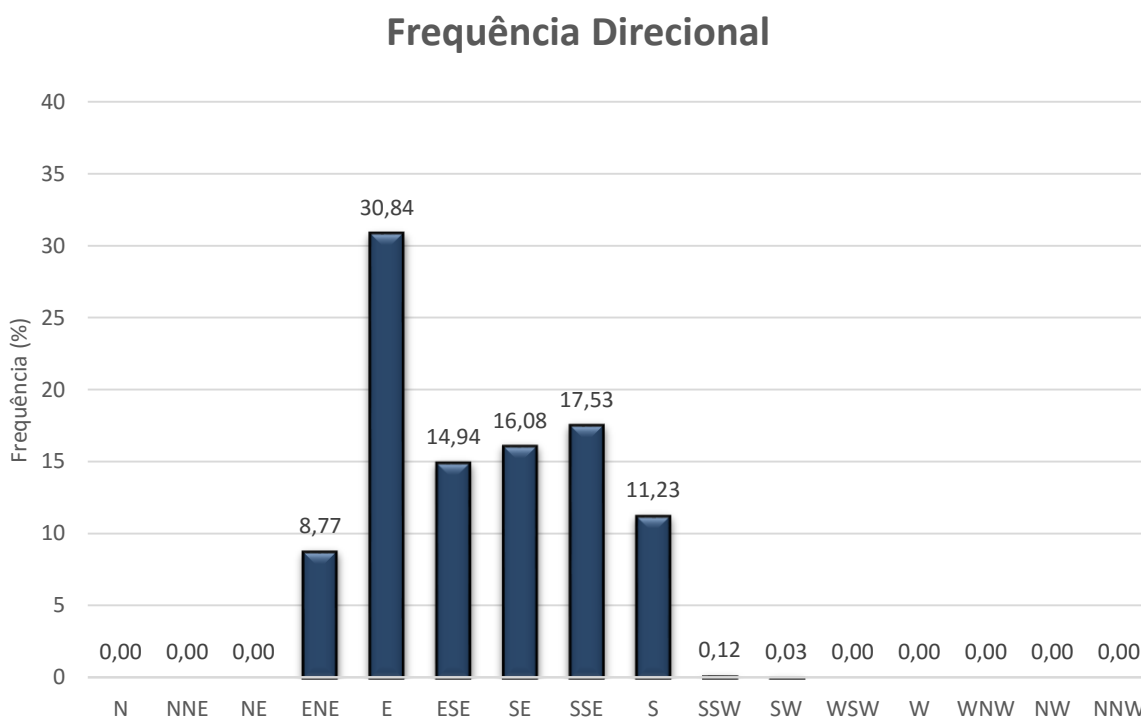


Figura 150 - Frequência direcional estacional do Caniçal (inverno)

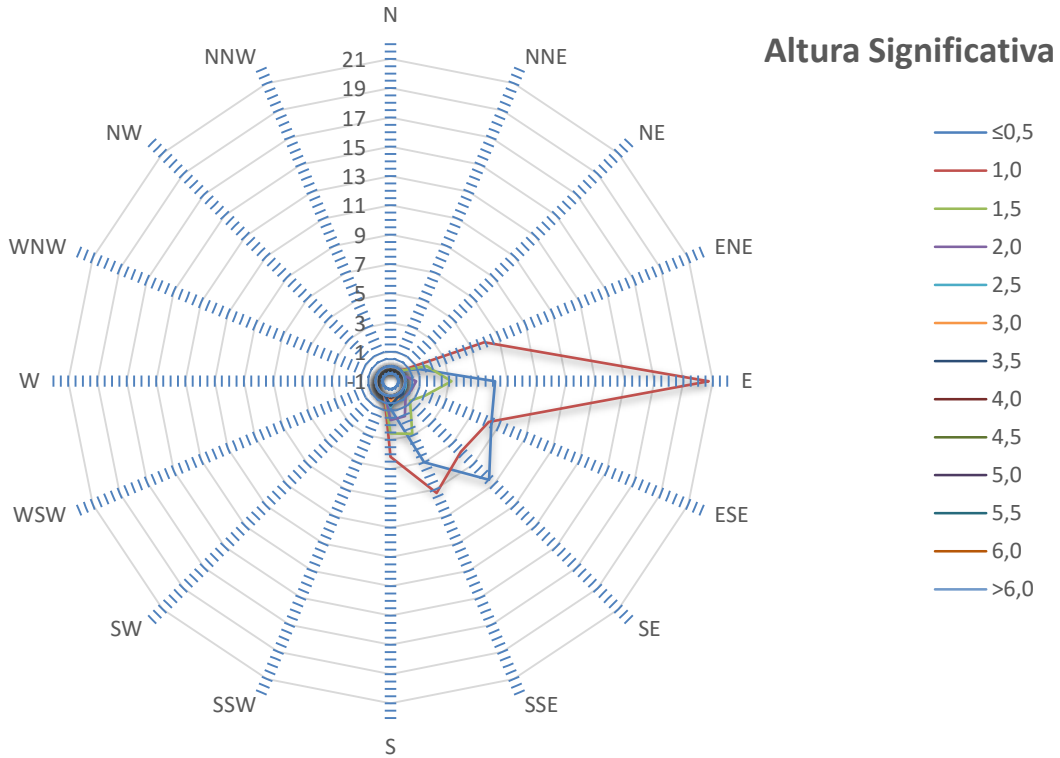


Figura 151 - Direção da altura de onda significativa estacional do Caniçal (inverno)

Leis Probabilísticas

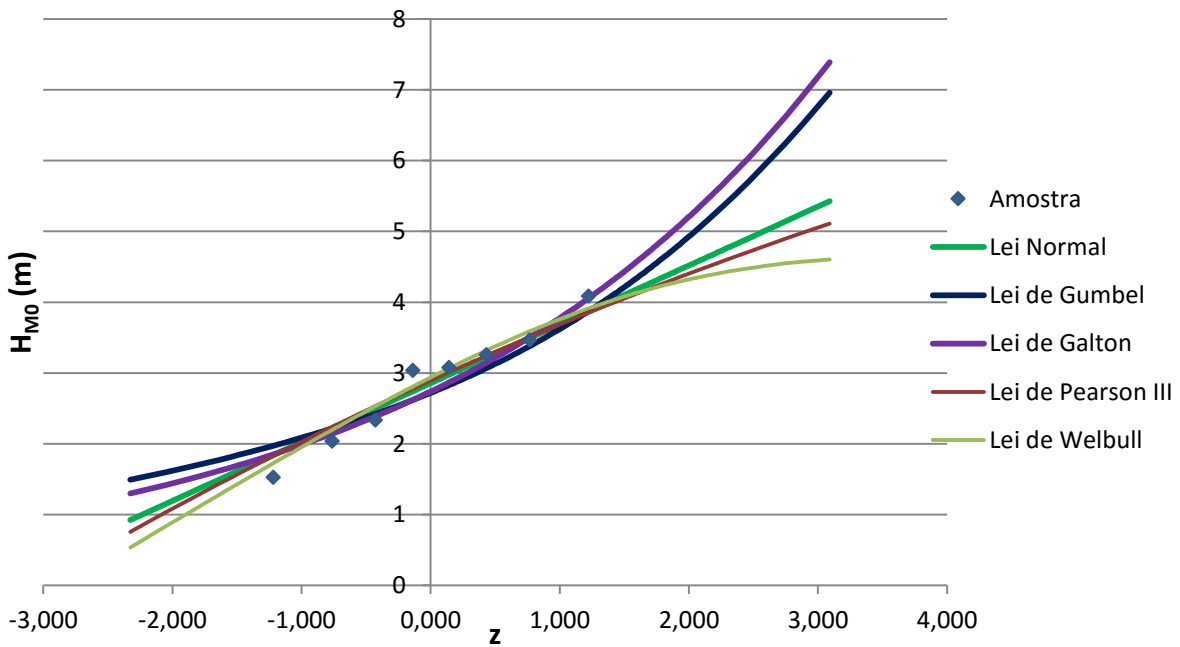


Figura 152 - Leis Probabilísticas

AI.2.3. Carol

AI.2.3.1. Descrição de dados

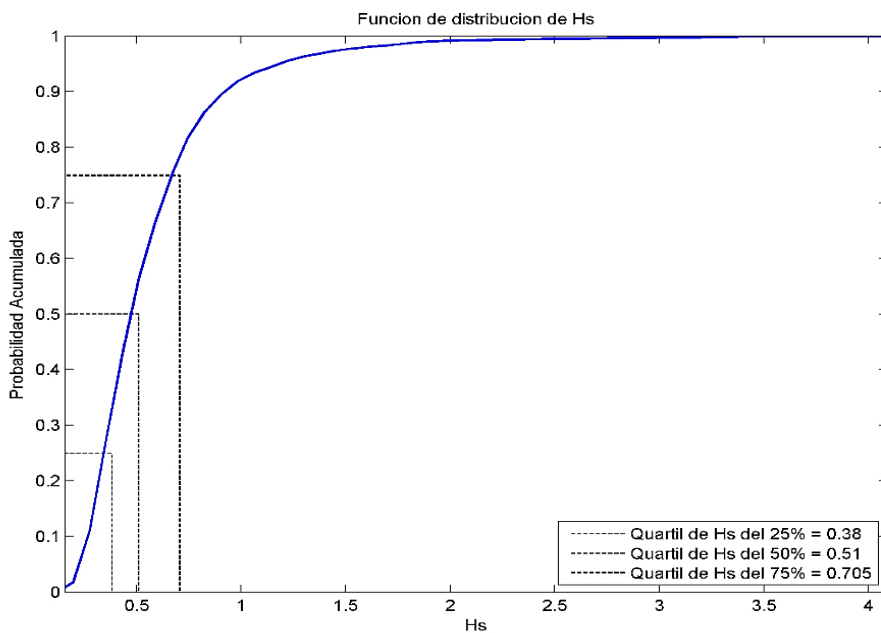


Figura 153 - Função de distribuição da altura significativa do Caniçal

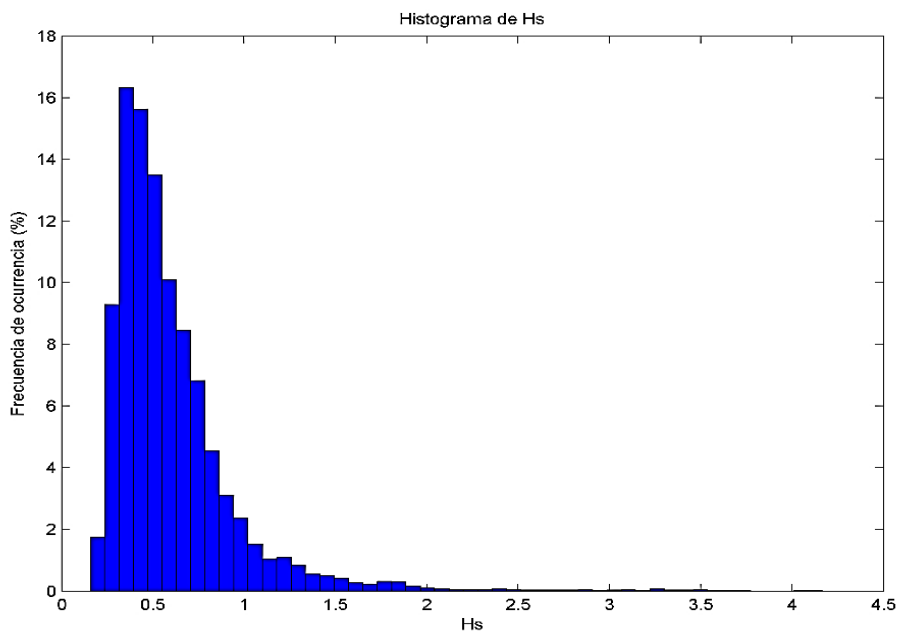


Figura 154 - Histograma das alturas significativas do Caniçal

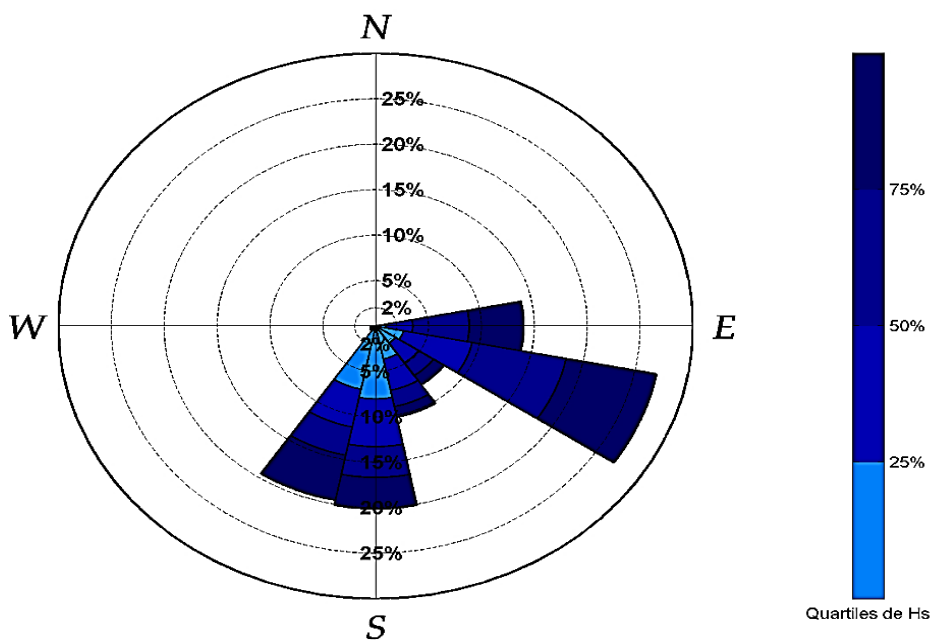


Figura 155 - Rosa dos Ventos distribuição da altura significativa do Caniçal

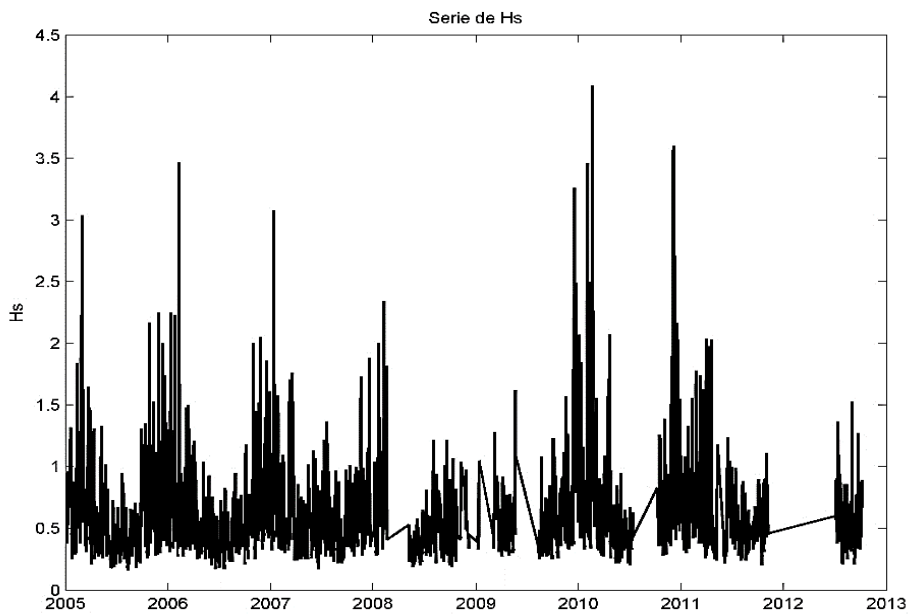


Figura 156 - Serie temporal da altura significativa do Caniçal

Al.2.3.2. Regime Médio

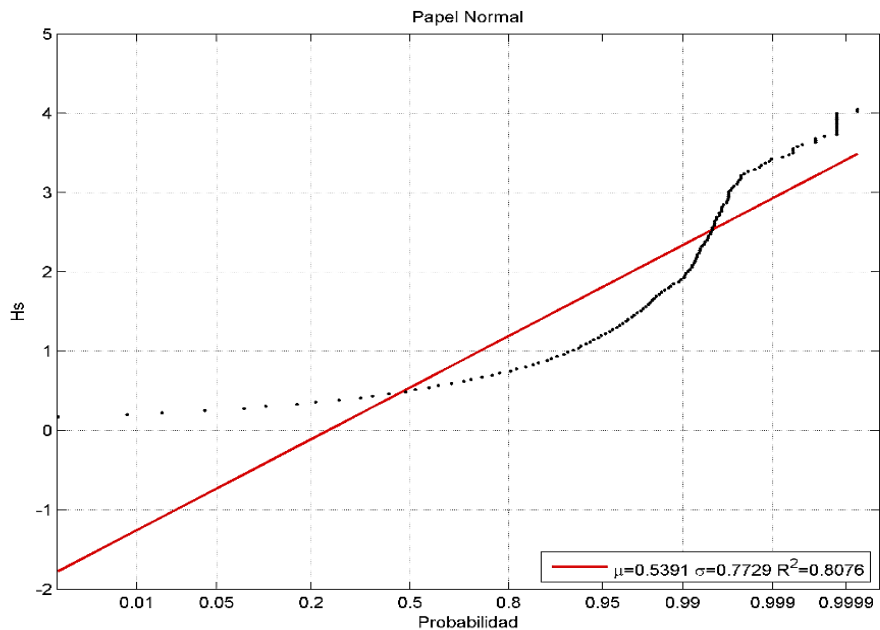


Figura 157 - Distribuição Normal do Caniçal

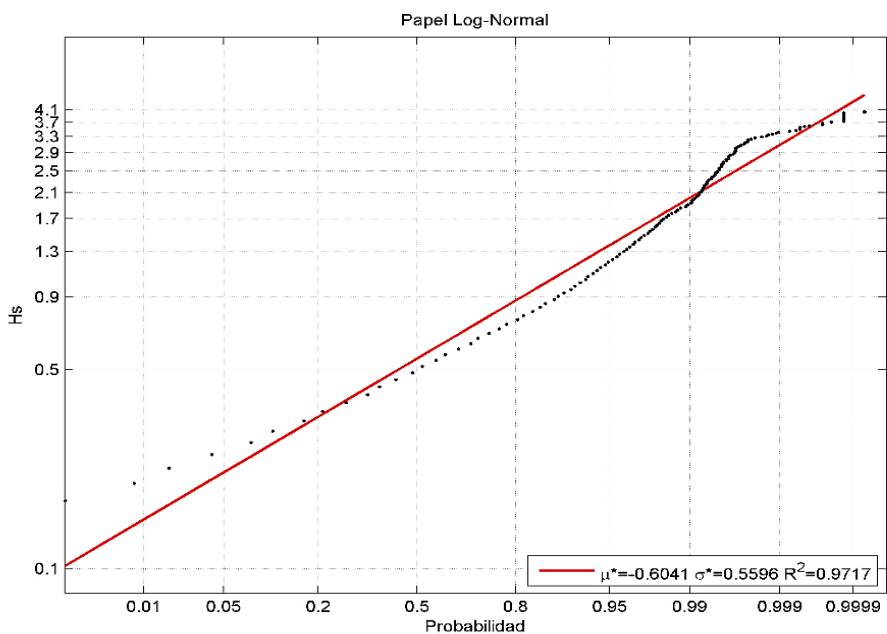


Figura 158 - Distribuição Log-Normal do Caniçal

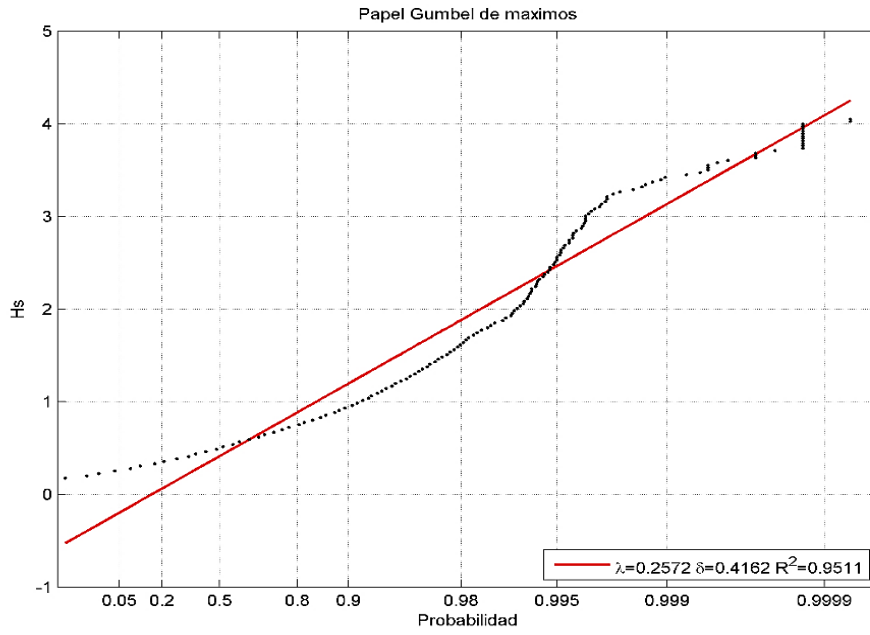


Figura 159 - Distribuição de Gumbel do Caniçal

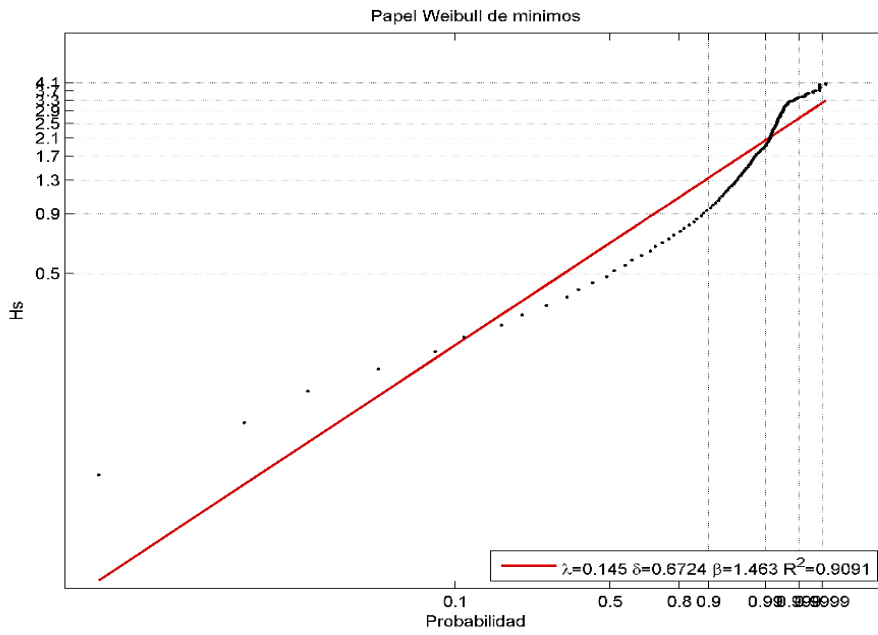


Figura 160 - Distribuição de Weibull do Caniçal

Al.2.3.3. Regime de Extremos

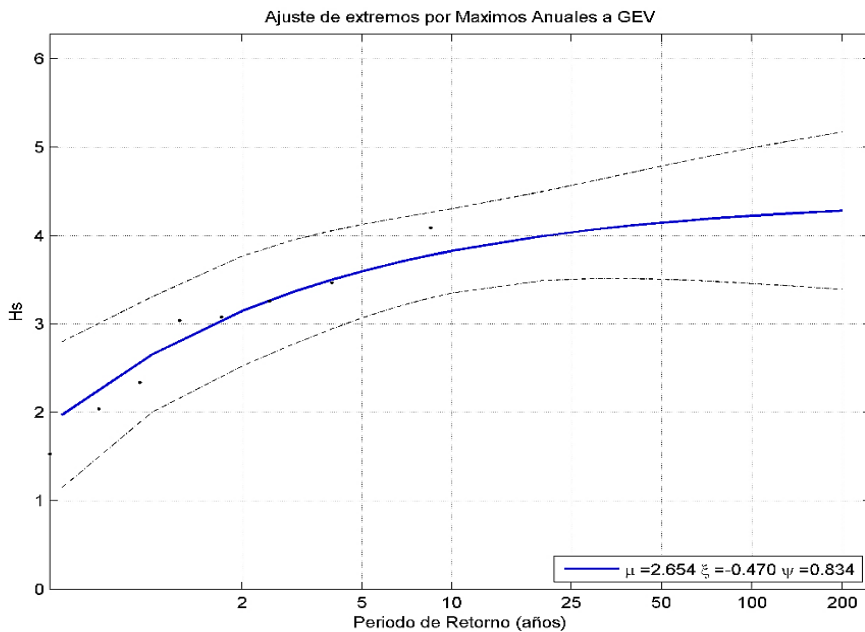


Figura 161 - GEV do Caniçal

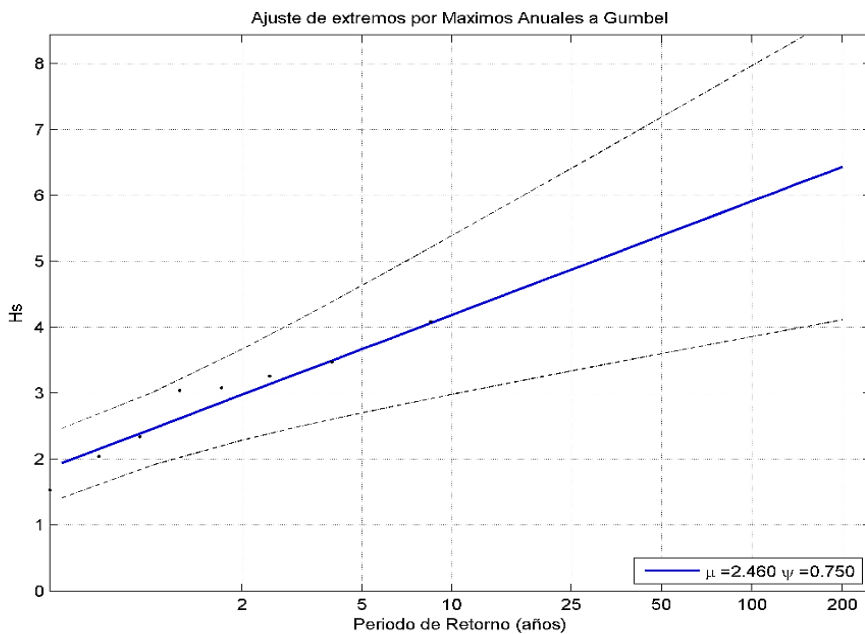


Figura 162 - Gumbel máximos anuais do Caniçal

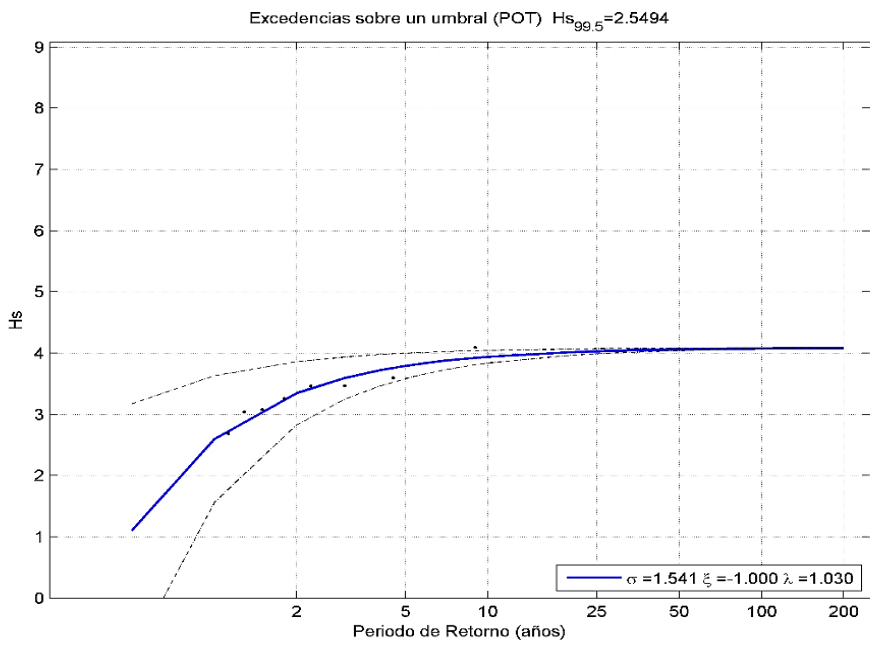


Figura 163 - POT do Caniçal

AI.2.4. Mopla

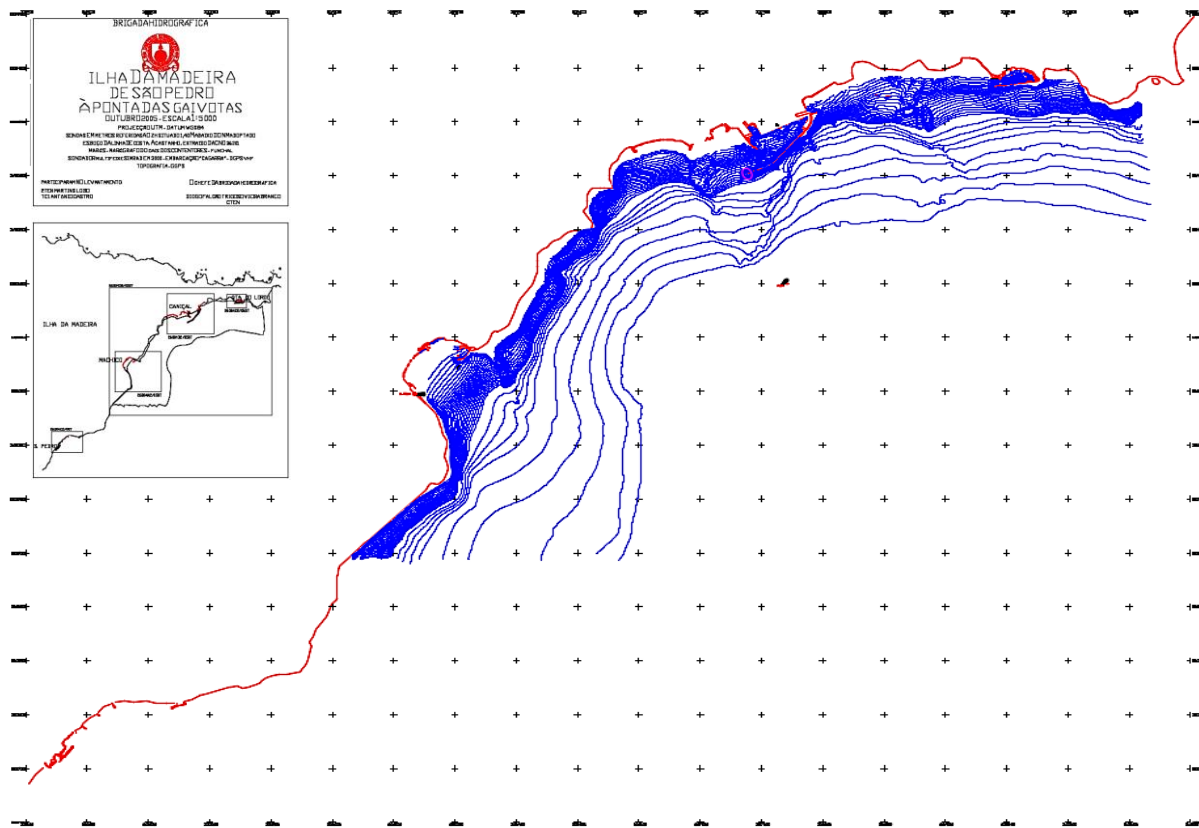


Figura 164 - Batimetria do Caniçal

Tabela 25 - Resultados obtidos para o Porto do Caniçal

Malha	Coordenadas	Altura de onda					
		D1	D2	E1	E2	F1	F2
M1	337665.80 3623398.04 - 8.33	6.5	6.3	4.3	4.5	3.1	2.5
	337827.42 3623579.86 - 5.04	3.2	3.6	5.7	3.4	2.7	3.8
	337443.58 3623337.44 - 7.46	3.0	3.2	5.1	5.5	2.5	2.2
	337403.18 3623519.26 - 7.98	5.0	3.4	2.8	2.1	6.8	3.3
	337686.01 3623256.63 -12.21	5.1	4.9	4.0	4.1	5.5	6.7

Al.2.4.1. Caso D1

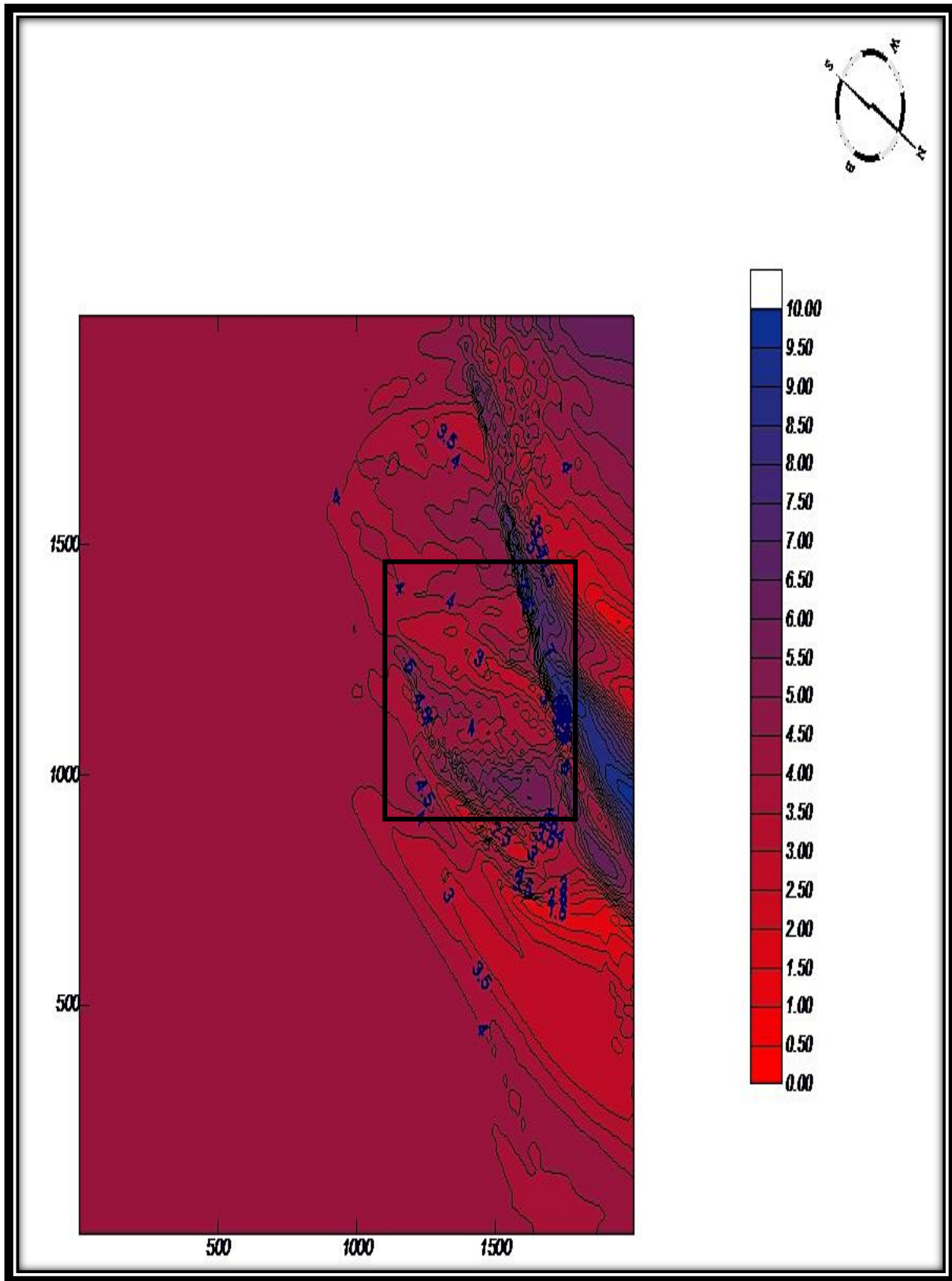


Figura 165 - Altura de onda, caso M1 - D1

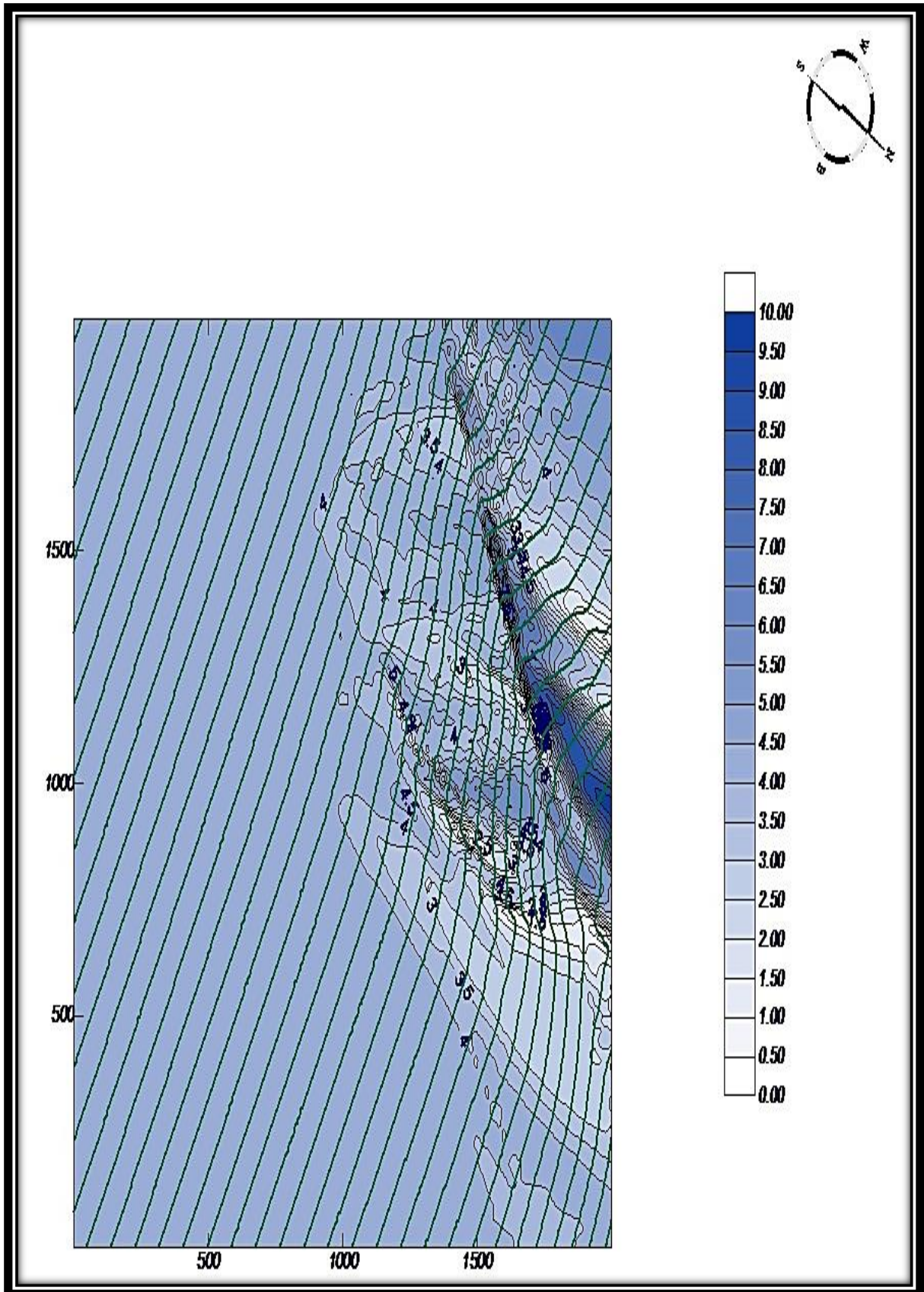


Figura 166 - Propagação da altura de onda, caso M1 - D1

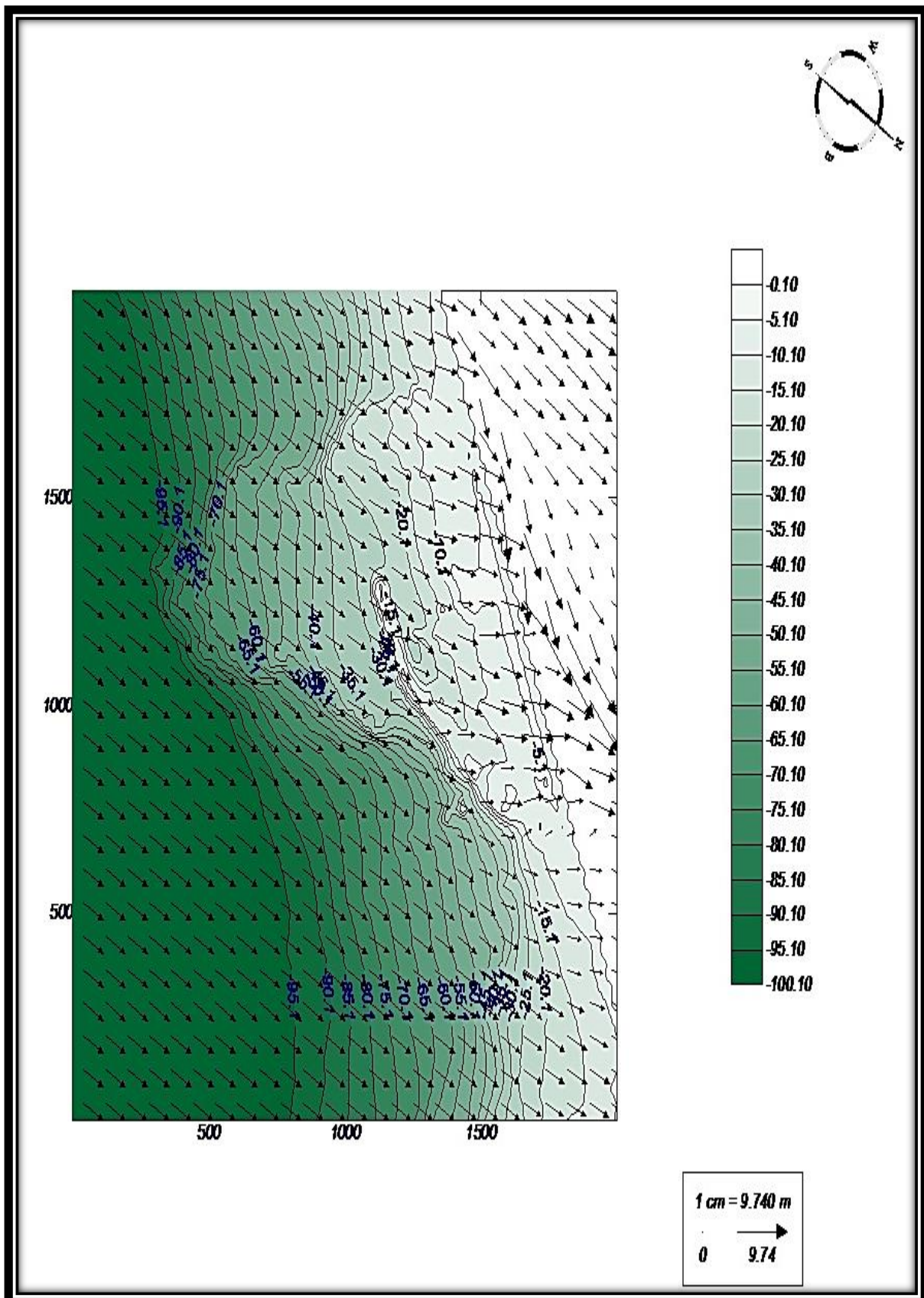


Figura 167 - Direção da onda, caso M1 - D1

Al.2.4.2. Caso D2

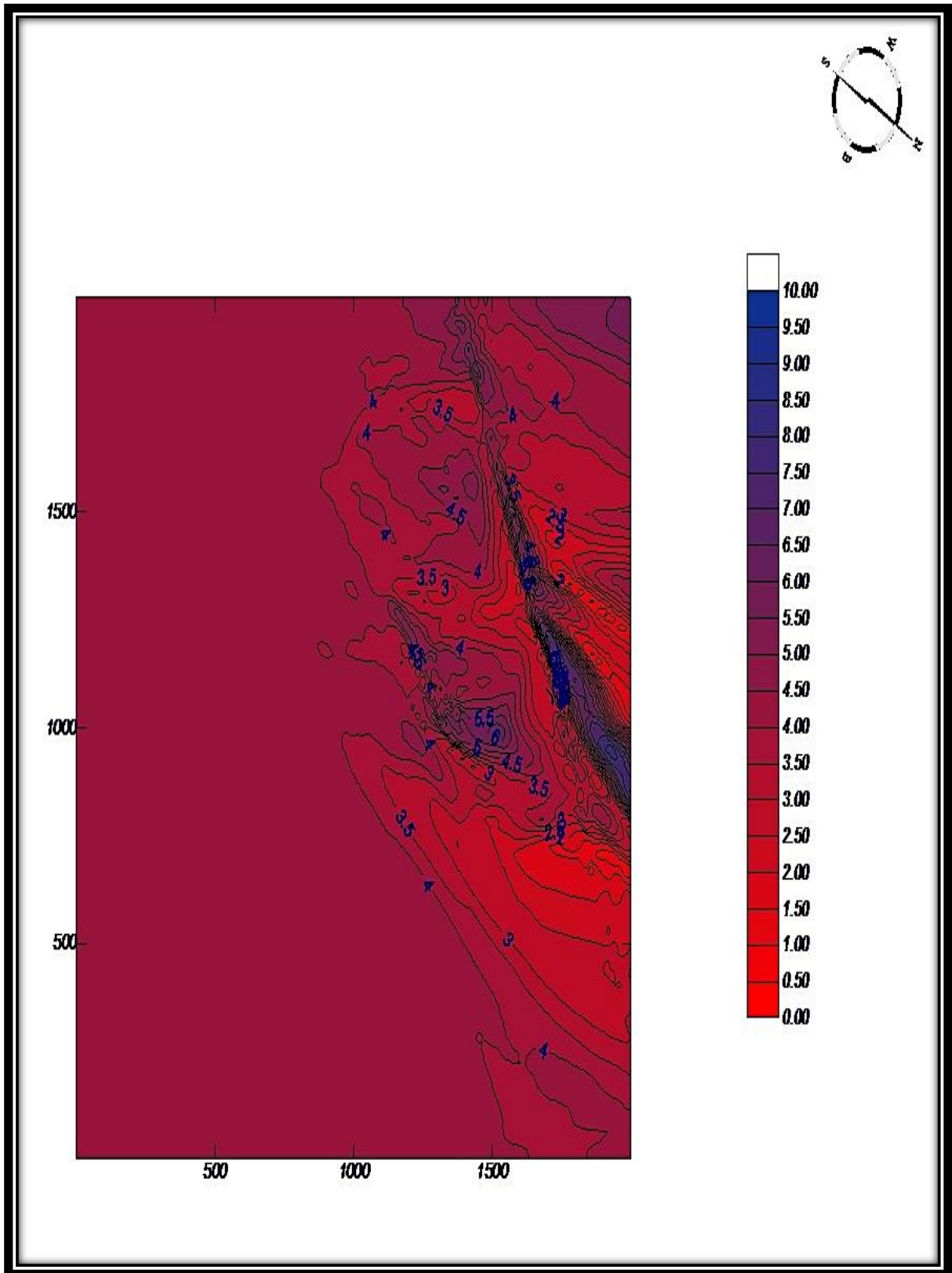


Figura 168 - Altura de onda, caso M1 - D2

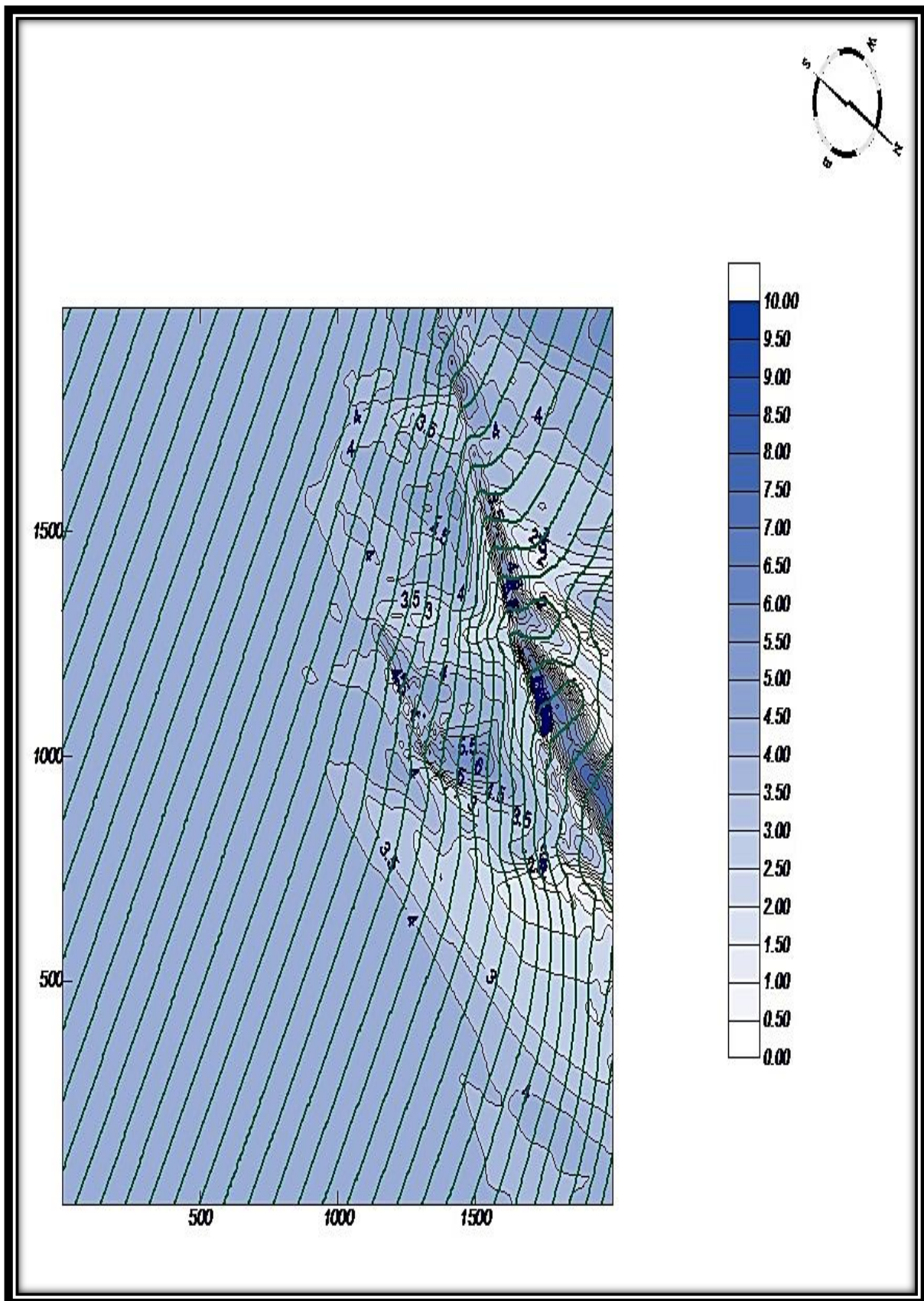


Figura 169 - Propagação da altura de onda, caso M1 - D2

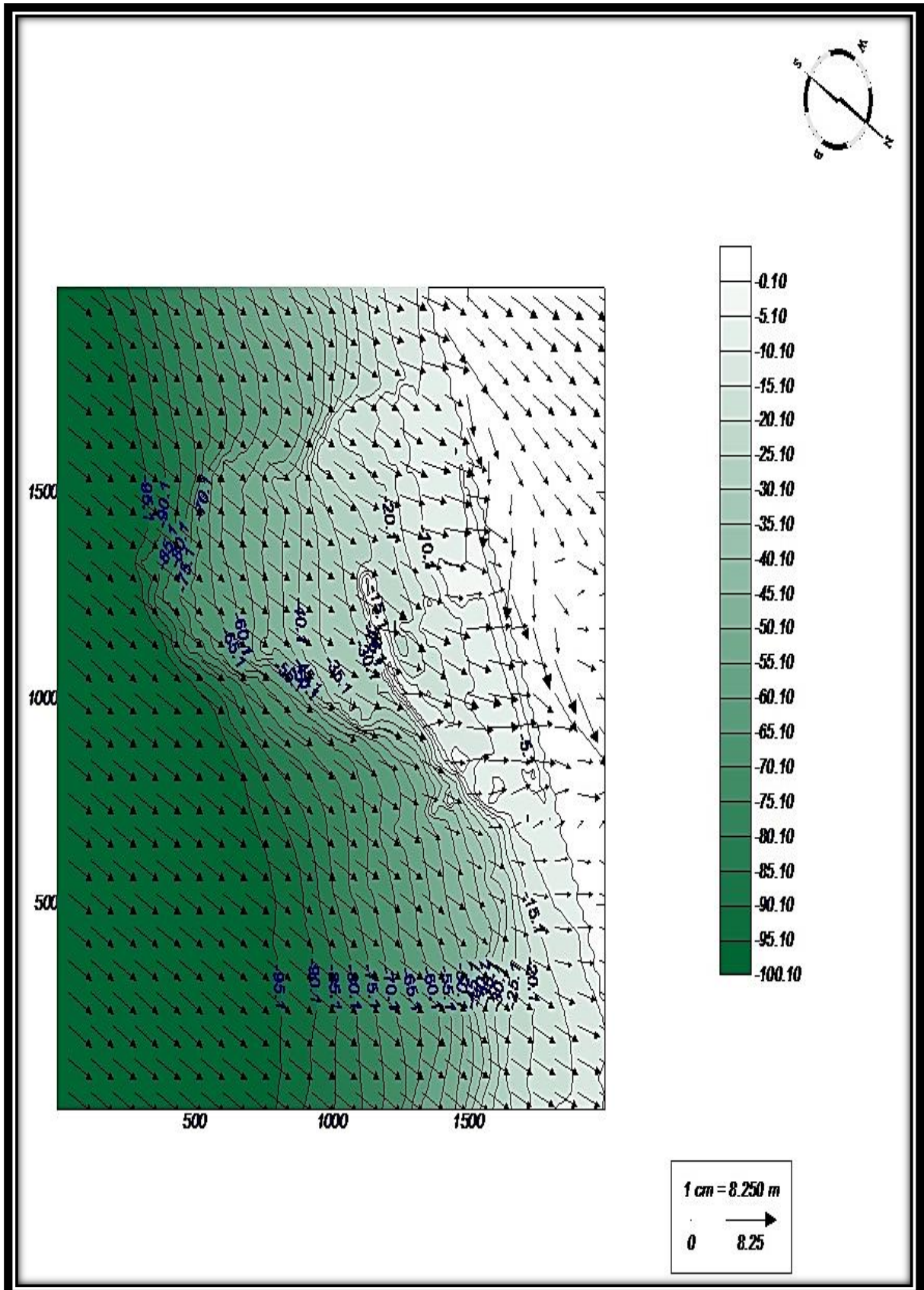


Figura 170 - Direção da onda, caso M1 - D2

AI.2.4.3. Caso E1

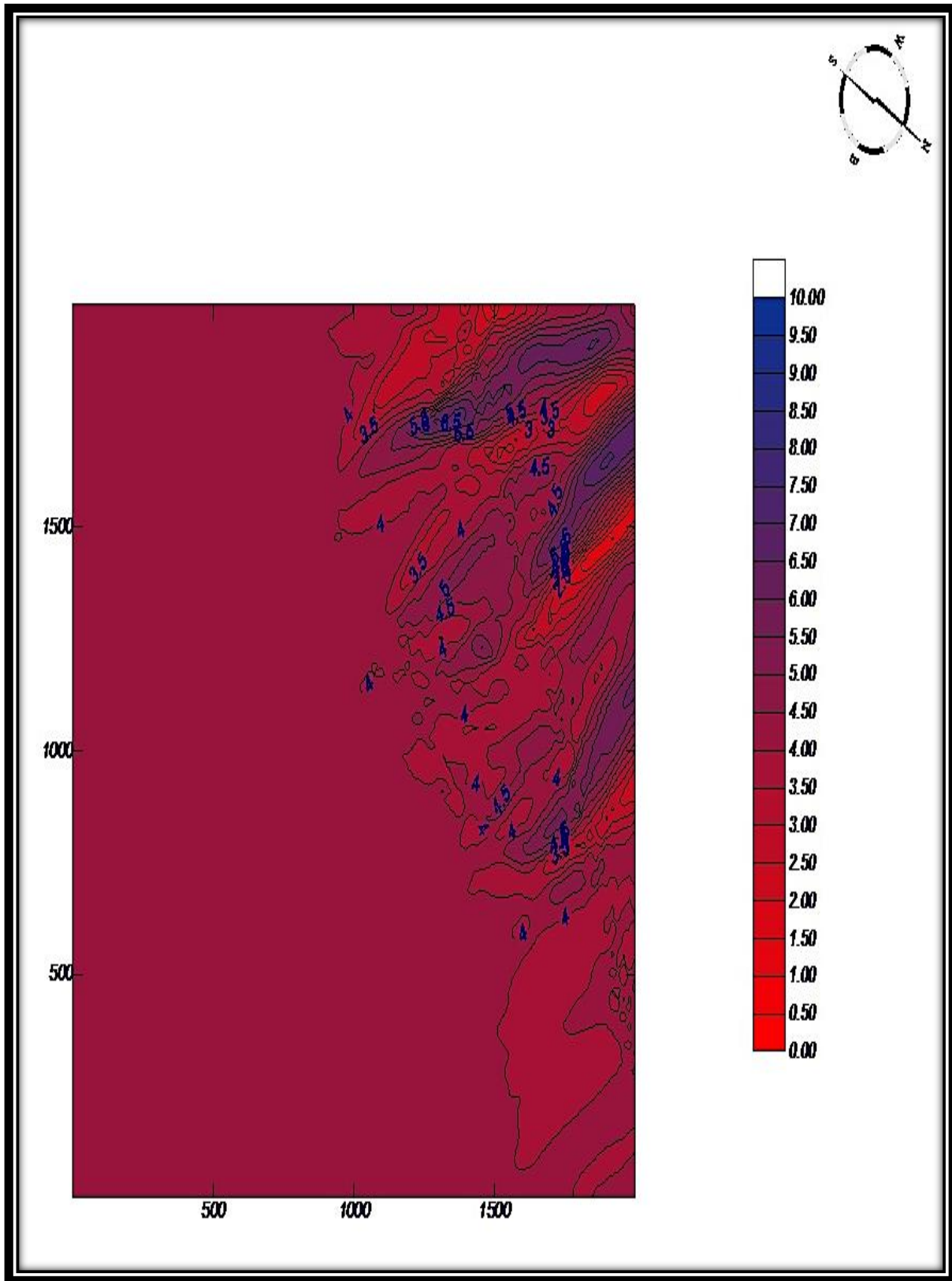


Figura 171 - Altura de onda, caso M1 - E1

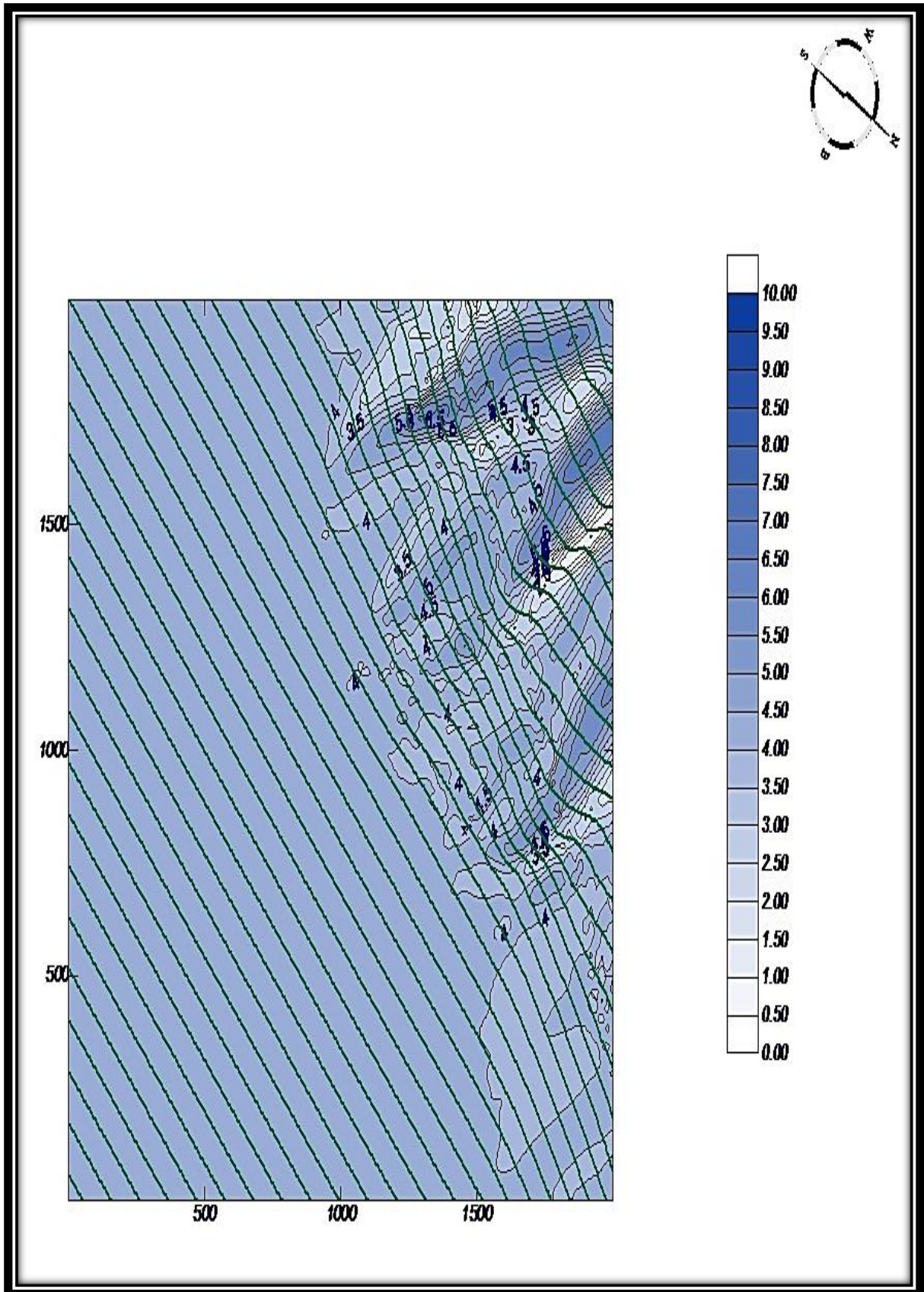


Figura 172 - Propagação da altura de onda, caso M1 - E1

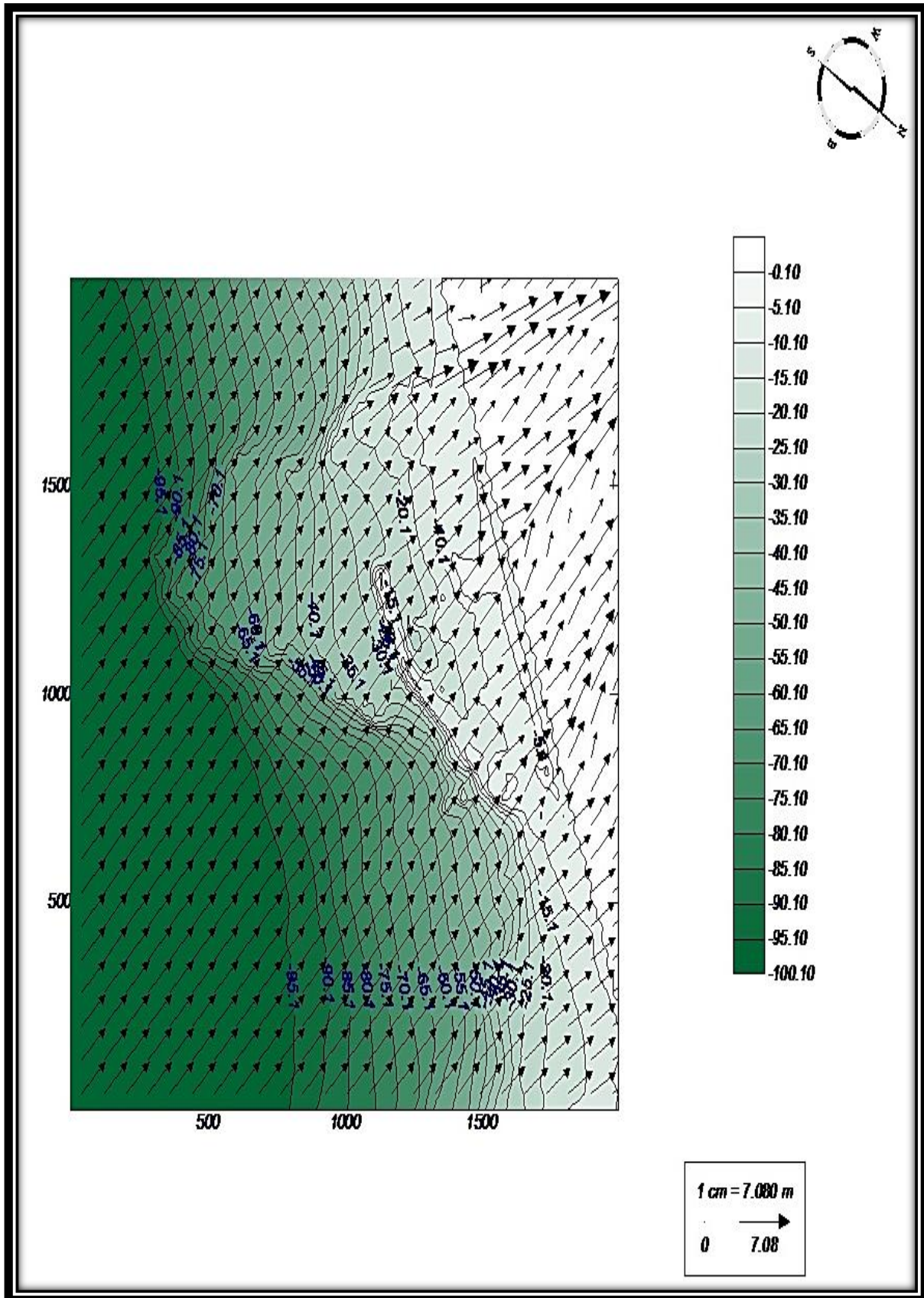


Figura 173 - Direção da onda, caso M1 - E1

Al.2.4.4. Caso E2

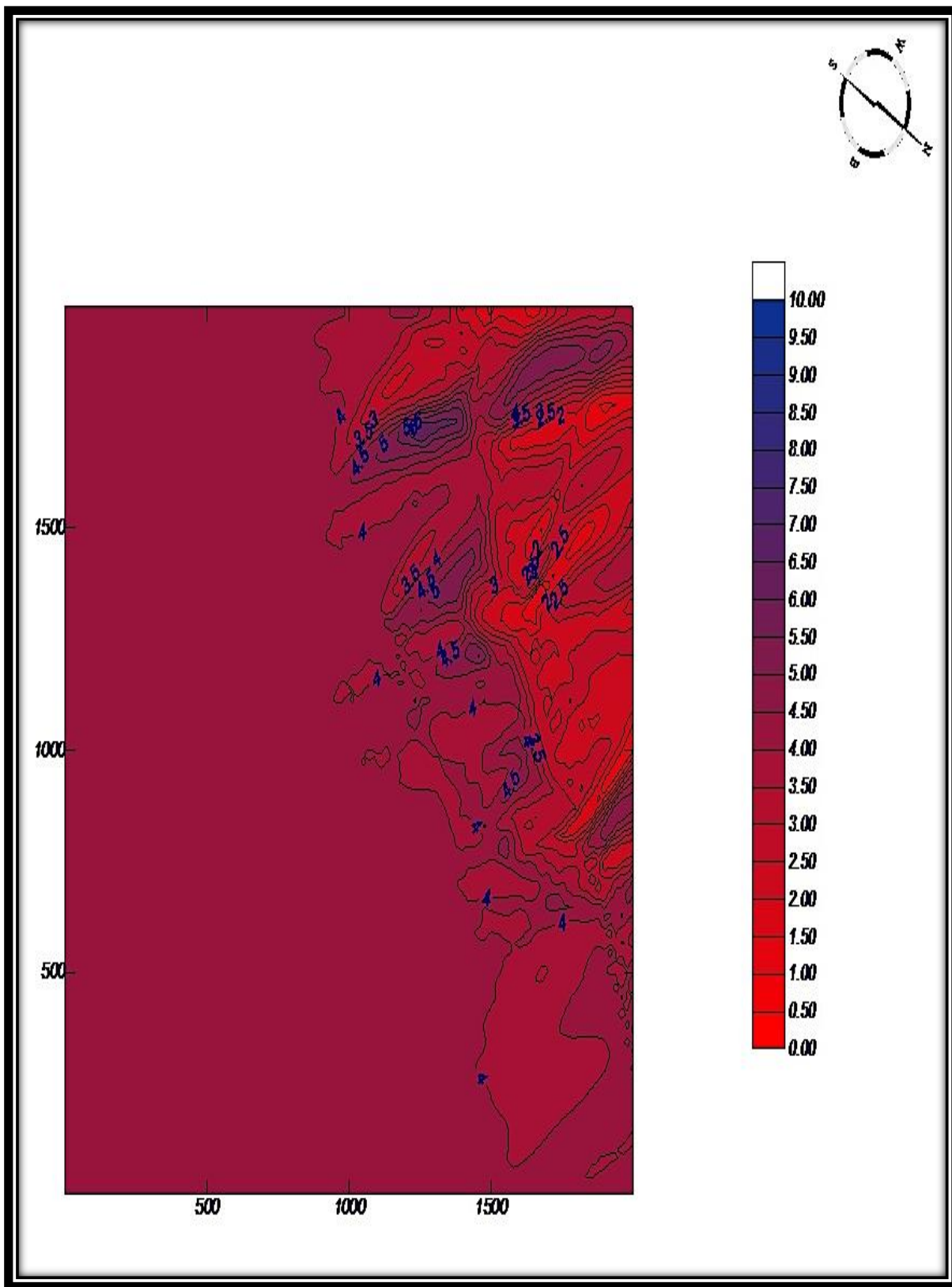


Figura 174 - Altura de onda, caso M1 - E2

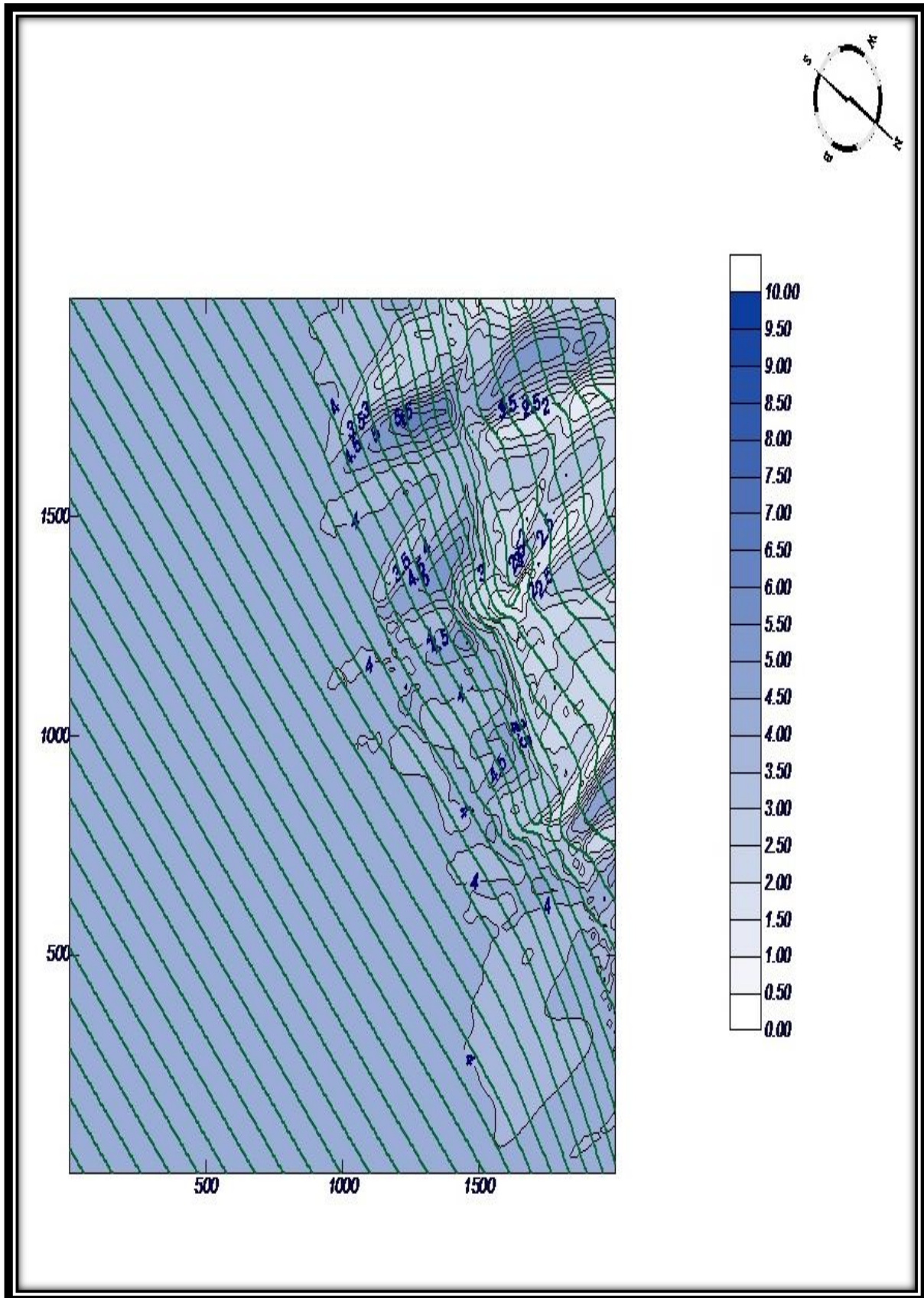


Figura 175 - Propagação da altura de onda, caso M1 - E2

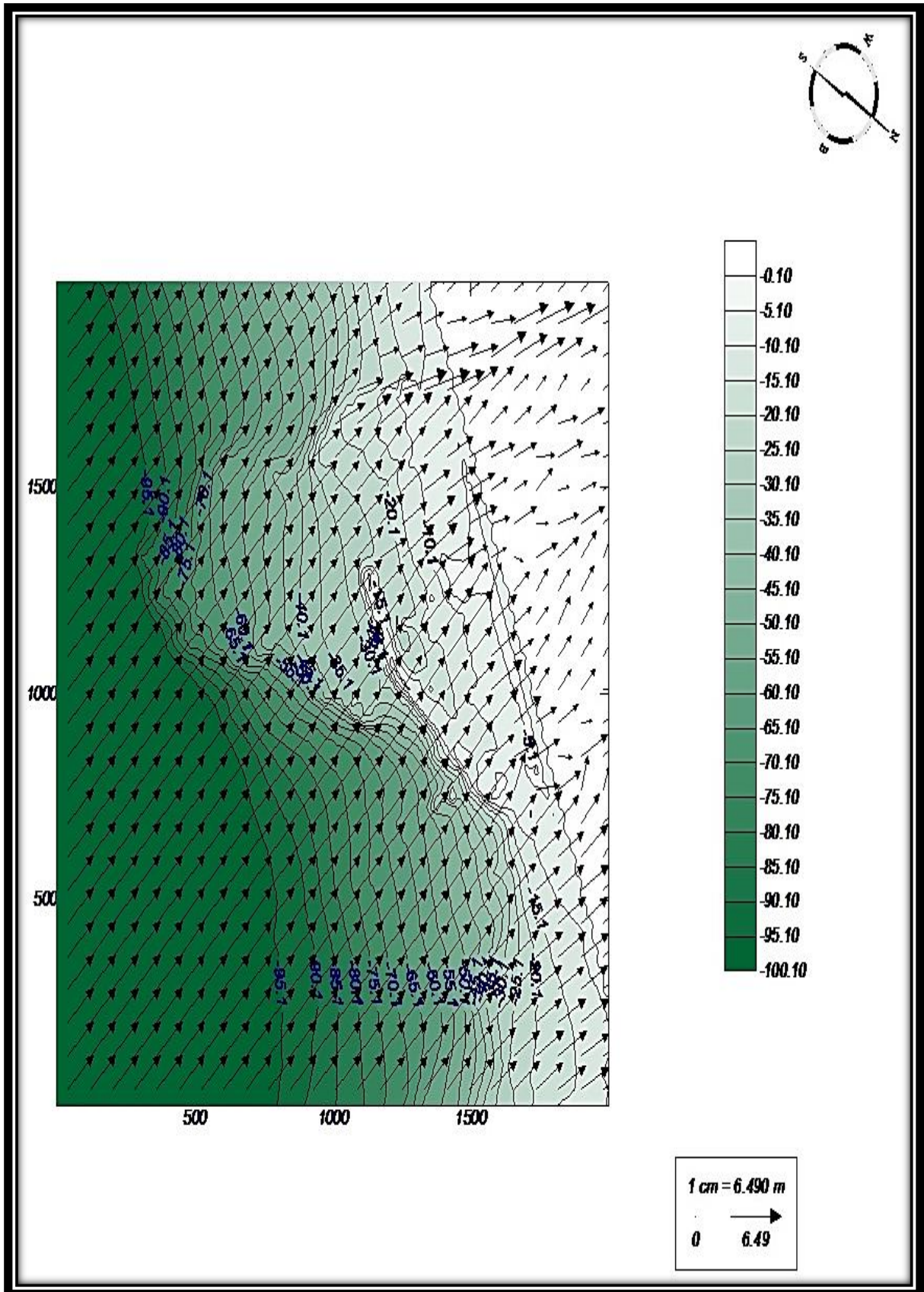


Figura 176 - Direção da onda, caso M1 - E2

Al.2.4.5. Caso F1

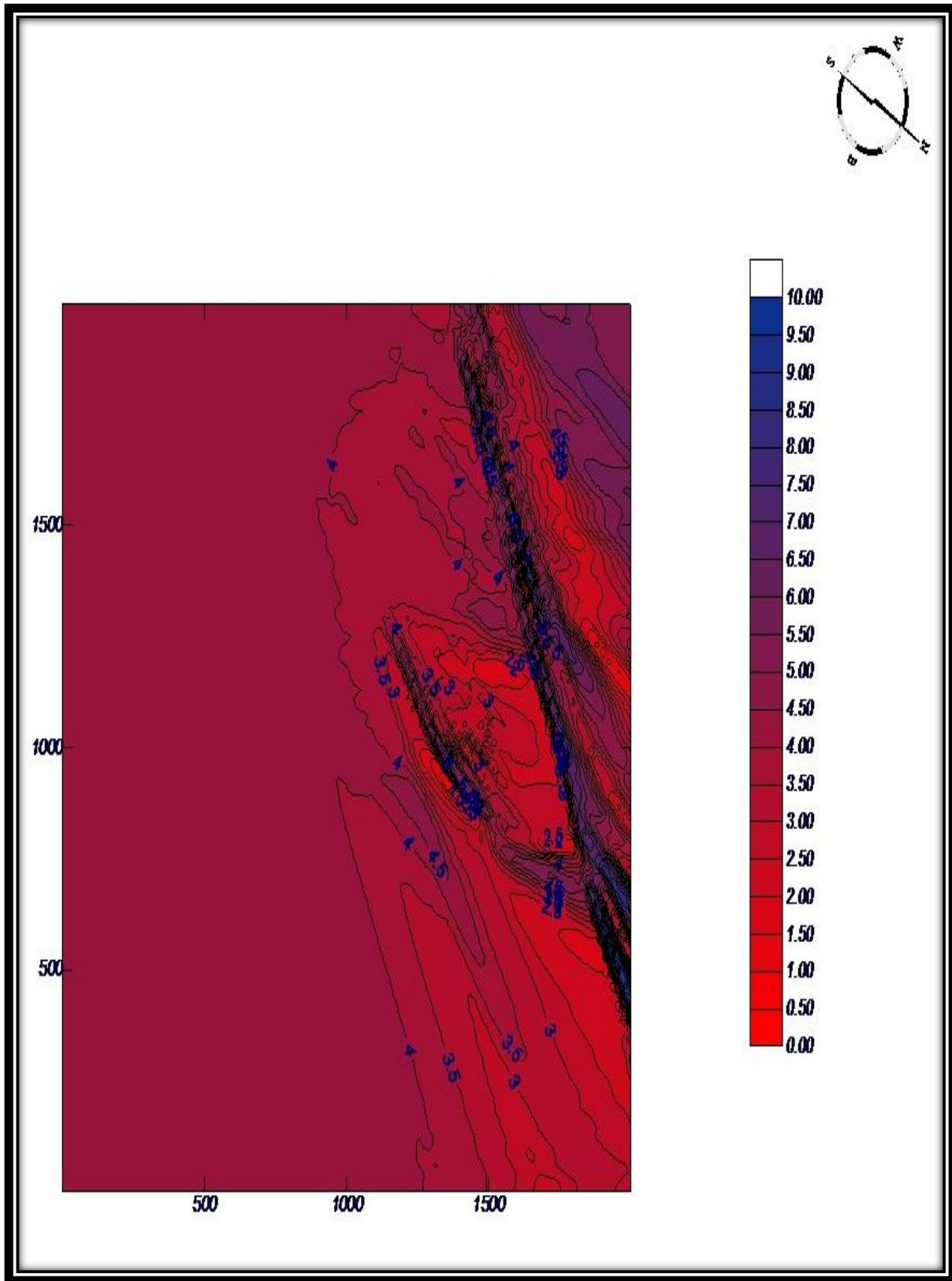


Figura 177 - Altura de onda, caso M1 - F1

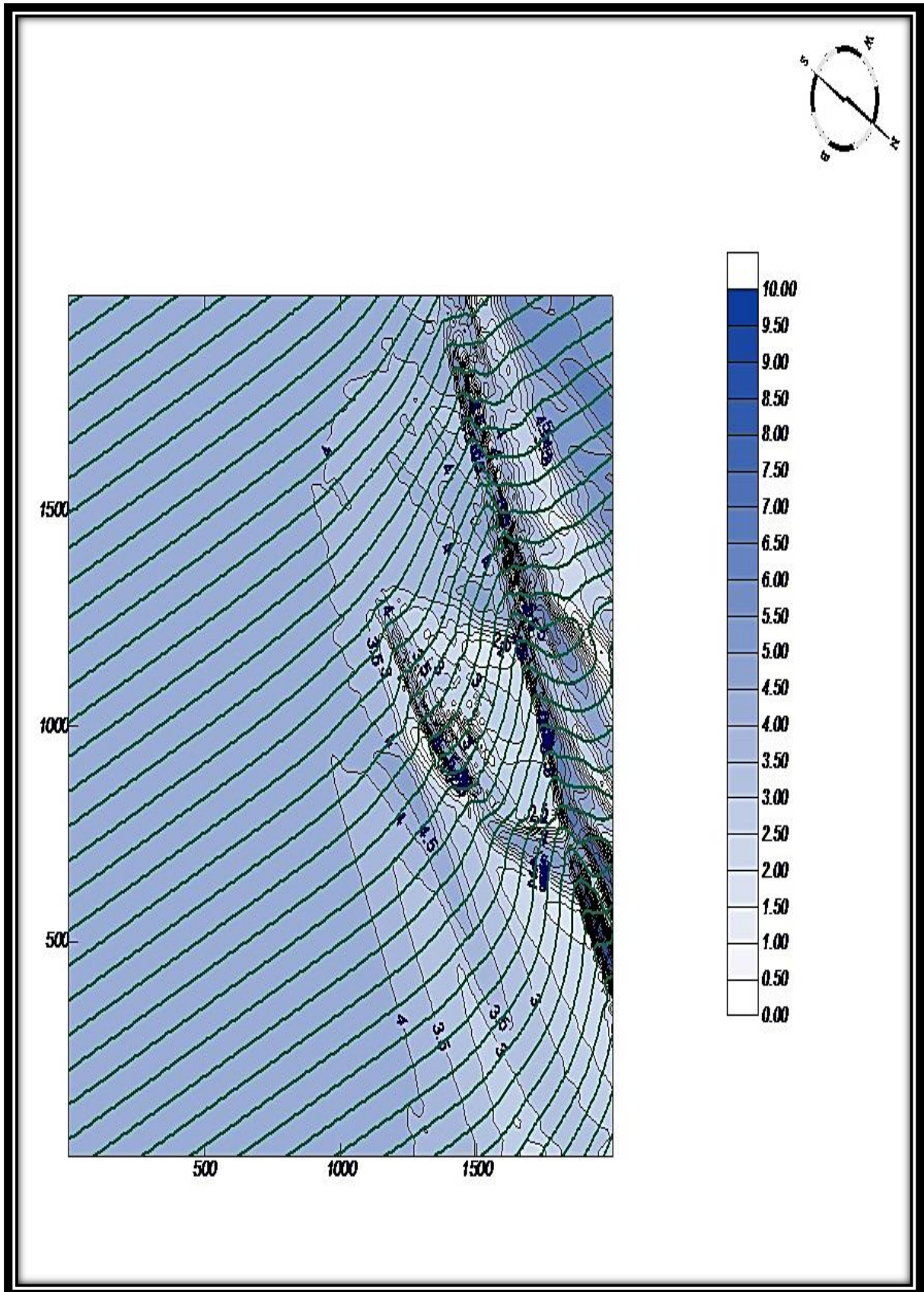


Figura 178 - Propagação da altura de onda, caso M1 - F1

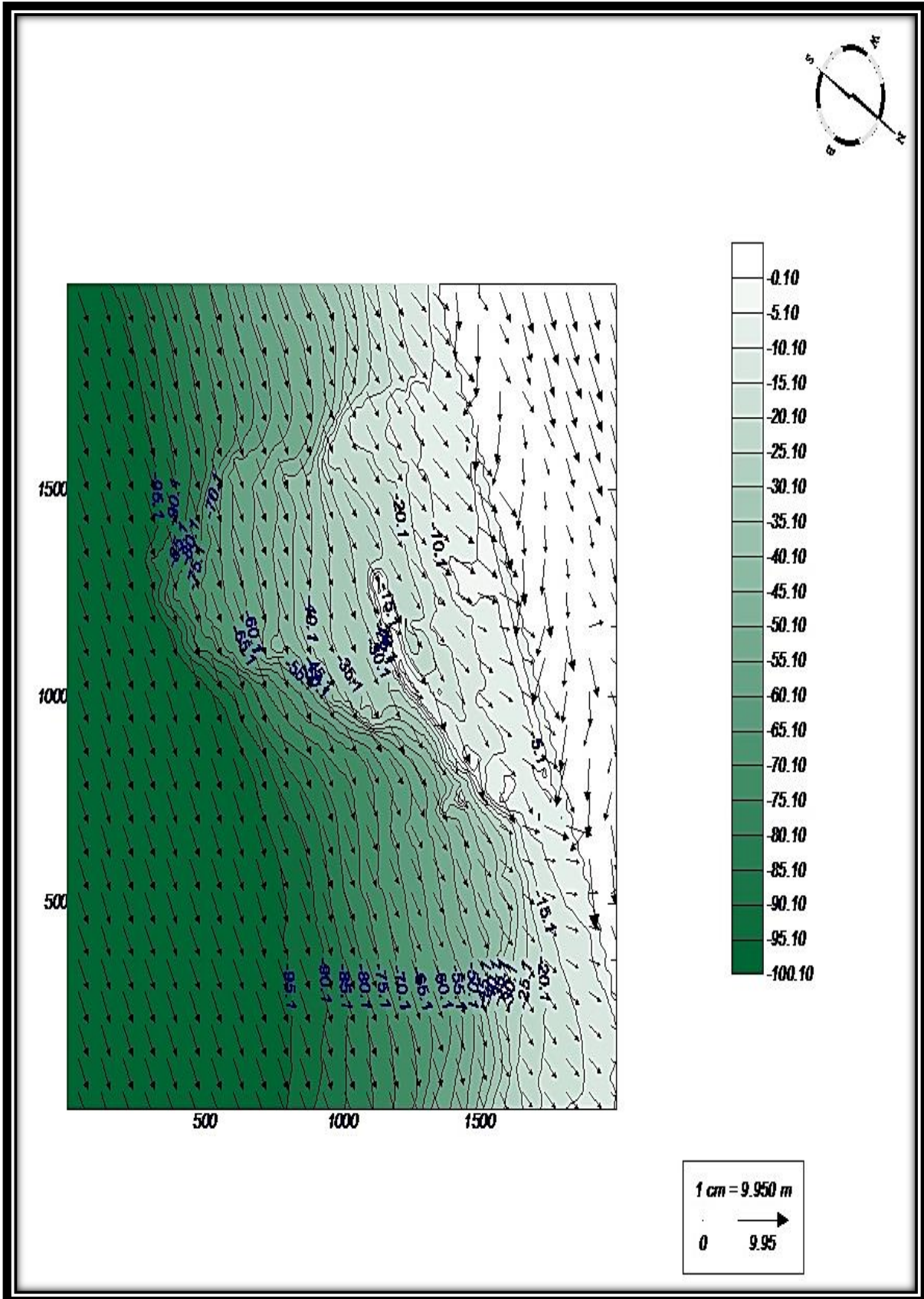


Figura 179 - Direção da onda, caso M1 - F1

Al.2.4.5. Caso F2

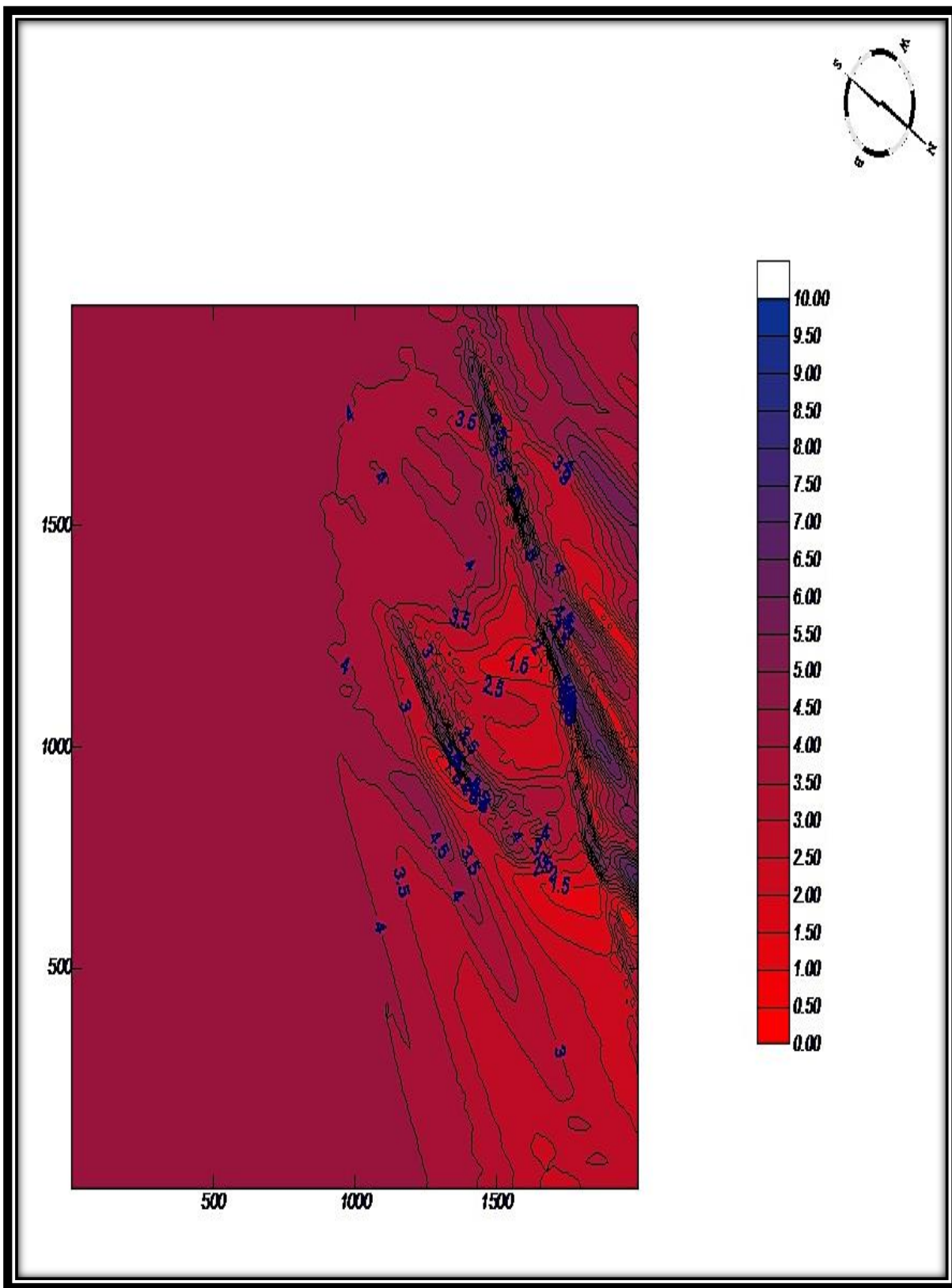


Figura 180 - Altura de onda, caso M1 - F2

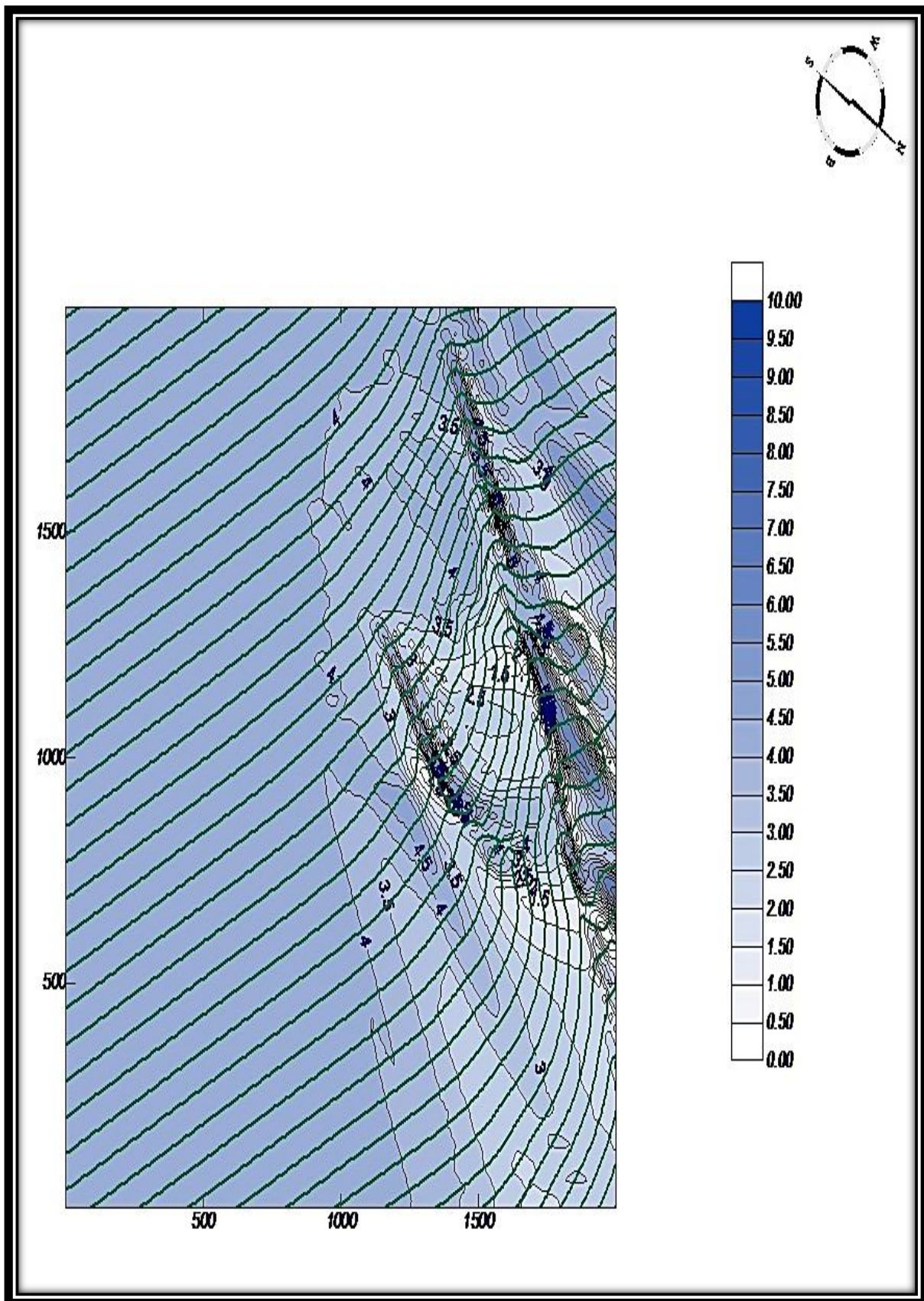


Figura 181 - Propagação da altura de onda, caso M1 - F2

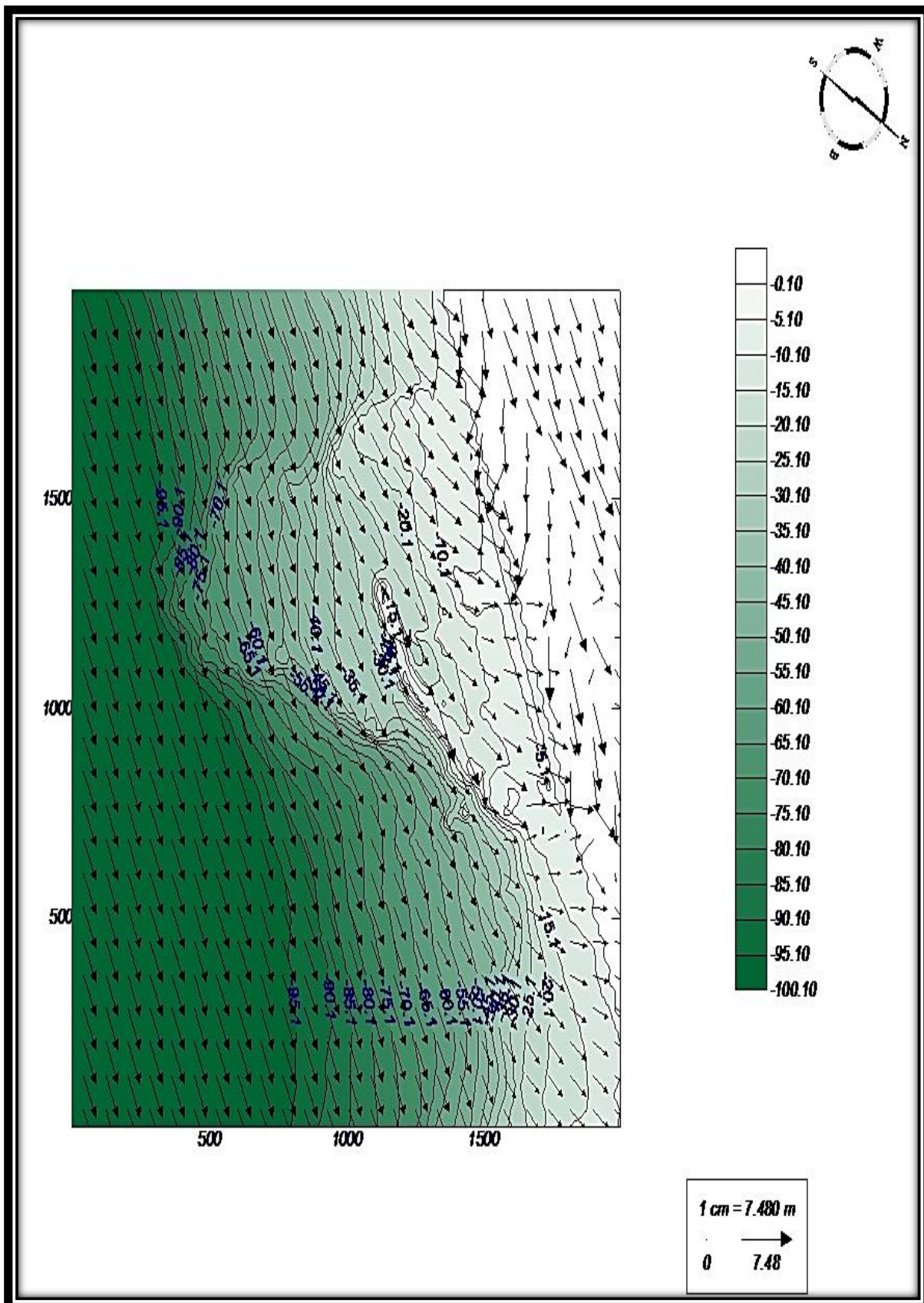


Figura 182 - Direção da onda, caso M1 - F2

ANEXO III
PORTO DO PORTO MONIZ

AI.3. CLIMA MARITIMO

AI.3.1. Regime Anual

Tabela 26 - Registos das alturas significativas e dos períodos de pico do Porto Moniz

H _{M0} (m)	T _P (s)											TOTAL	
	≤2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	>20		
≤0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
1,0	-	-	-	3	1	2	-	-	-	-	-	-	6
1,5	-	-	-	28	45	35	11	-	1	-	-	-	120
2,0	-	-	1	14	55	5	19	13	3	1	-	-	163
2,5	-	-	-	11	23	52	14	12	2	-	-	-	114
3,0	-	-	-	1	25	46	21	27	1	-	-	-	121
3,5	-	-	-	1	22	78	32	39	9	-	-	-	181
4,0	-	-	-	-	15	56	16	44	3	-	-	-	134
4,5	-	-	-	2	9	37	23	35	2	-	-	-	108
5,0	-	-	-	-	5	7	3	15	1	-	-	-	31
5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
>6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
TOTAL	0	0	1	60	200	370	139	185	22	1	0	0	978

Tabela 27 - Registos das direções das alturas significativas do Porto Moniz

DIREÇÃO	H _{M0} (m)													TOTAL
	≤0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	>6,0	
N	-	-	15	20	25	31	17	1	2	3	-	-	-	114
NNE	-	-	13	23	18	11	1	-	1	-	-	-	-	67
NE	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
ENE	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
E	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ESE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
SE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
SSE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
SSW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
SW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
WSW	-	-	-	2	3	8	7	-	-	-	-	-	-	20
W	-	-	4	10	11	10	2	1	-	-	-	-	-	38
WNW	-	-	9	16	14	9	7	4	6	1	-	-	-	66
NW	-	4	34	35	19	20	82	69	51	5	-	-	-	319
NNW	-	2	45	54	22	32	65	59	48	22	-	-	-	349
TOTAL	0	6	120	163	114	121	181	134	108	31	0	0	0	978

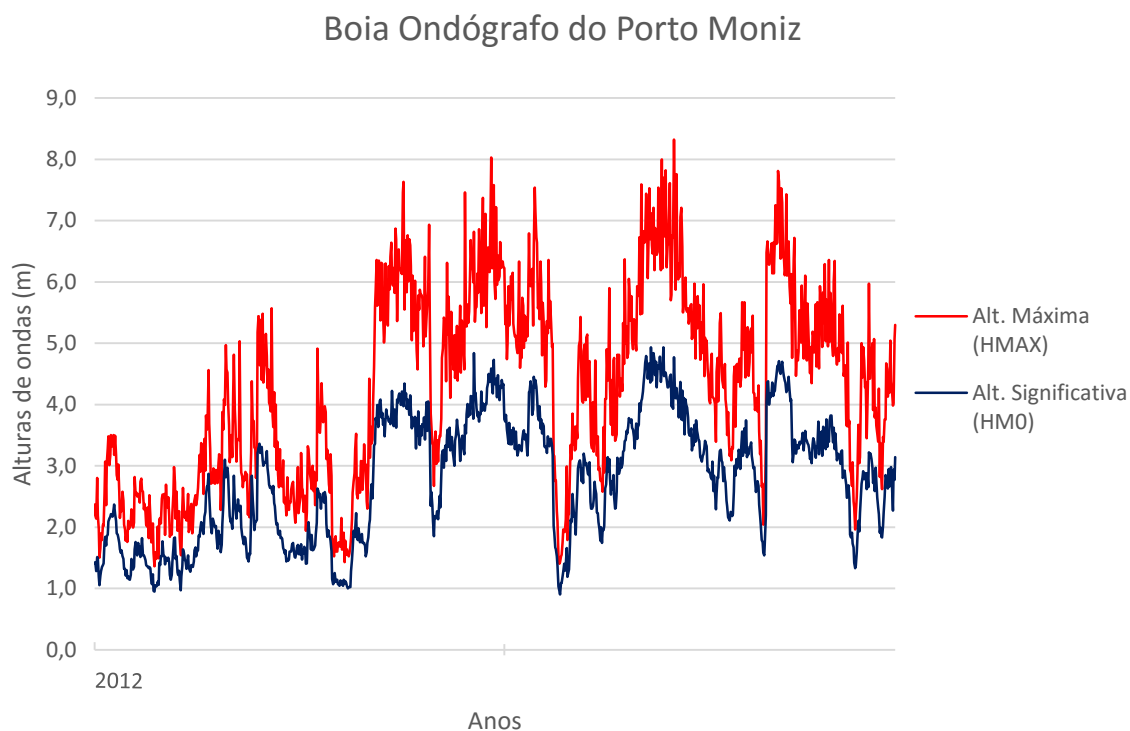


Figura 183 - Registo anual das alturas significativa e das alturas máximas do Porto Moniz

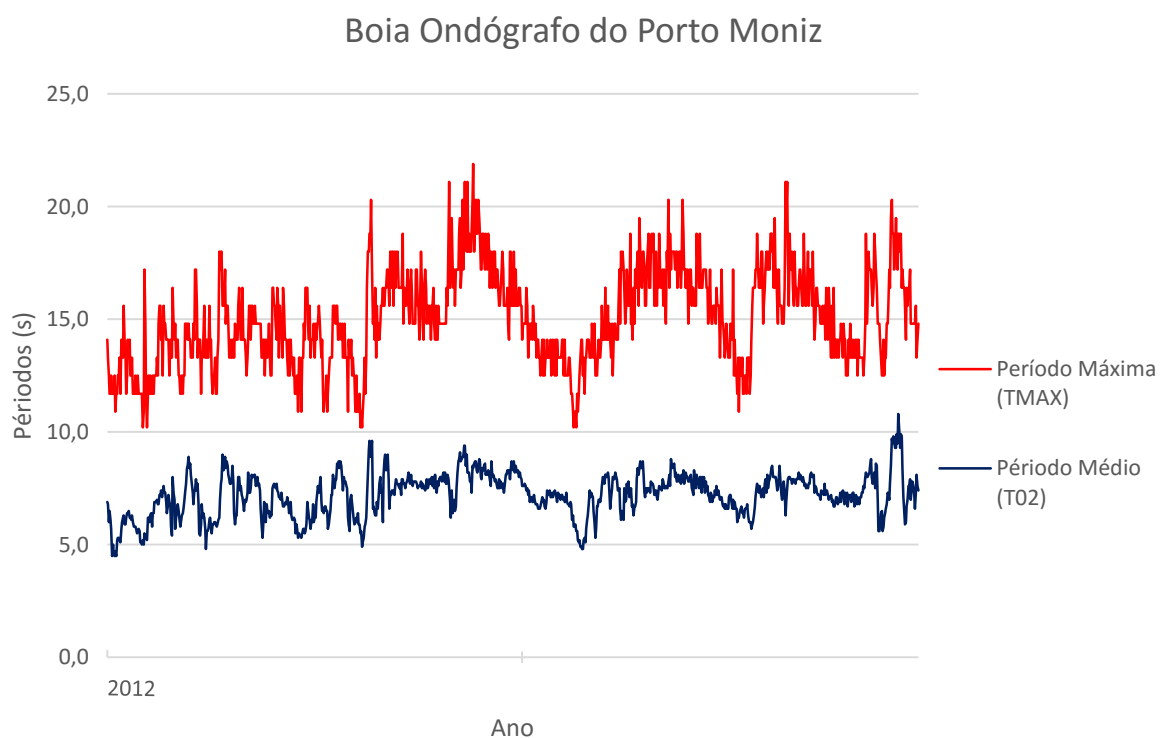


Figura 184 - Registo anual do período medio e do período máximo do Porto Moniz

Boia Ondógrafo do Porto Moniz

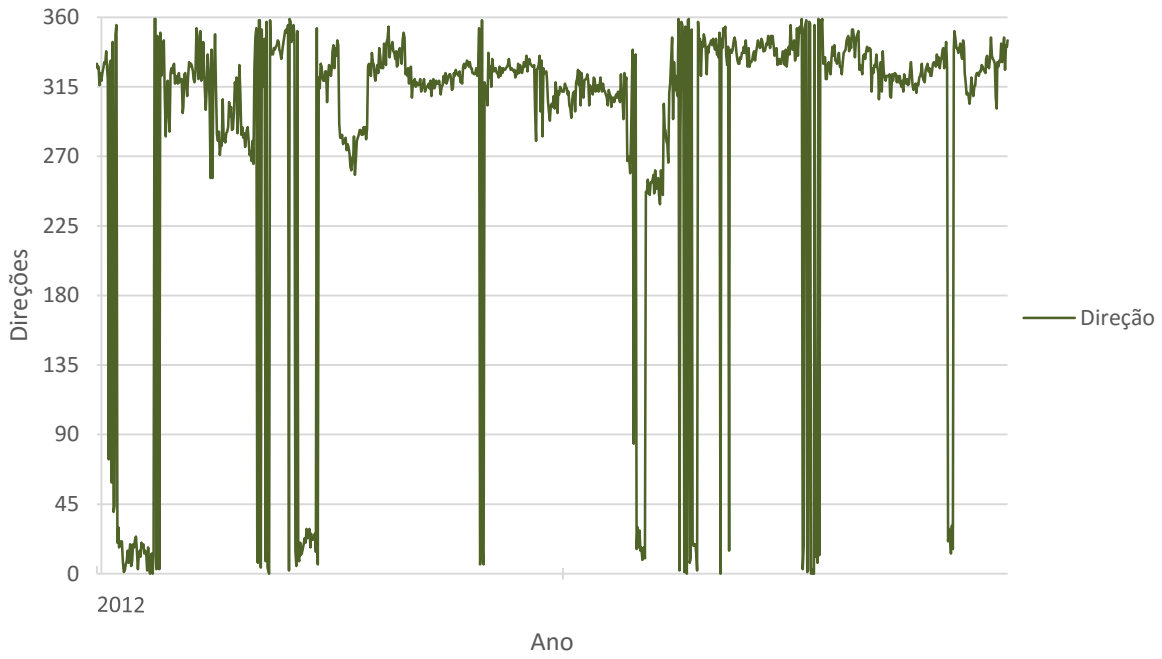


Figura 185 - Registo anual das direções de onda do Porto Moniz

Frequência H_{M0}

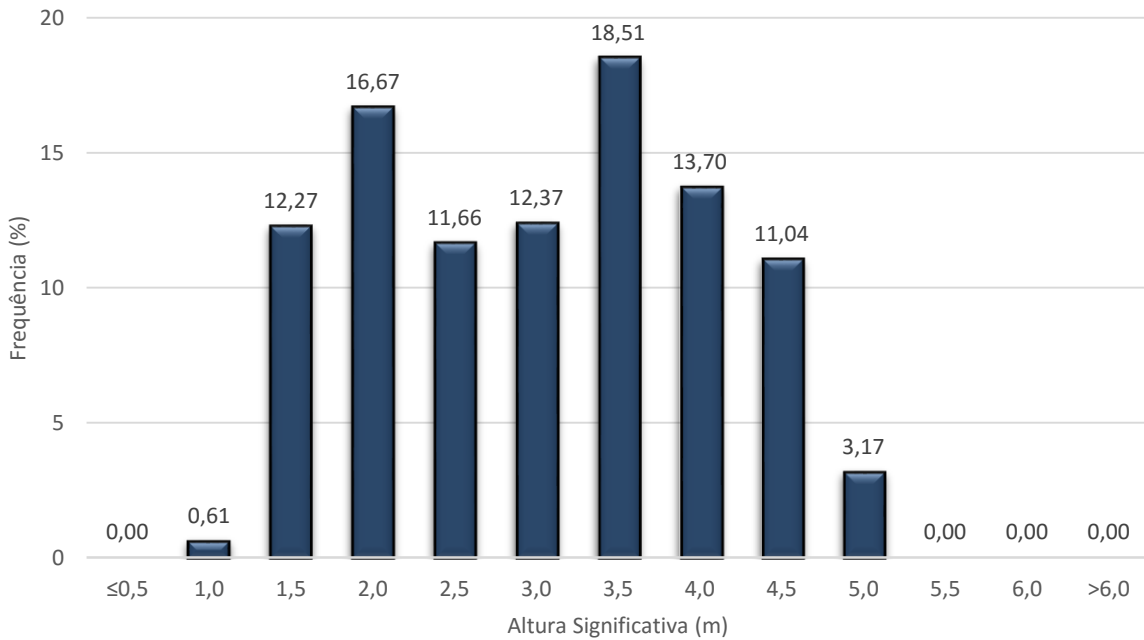


Figura 186 - Frequência da altura de onda significativa anual do Caniçal

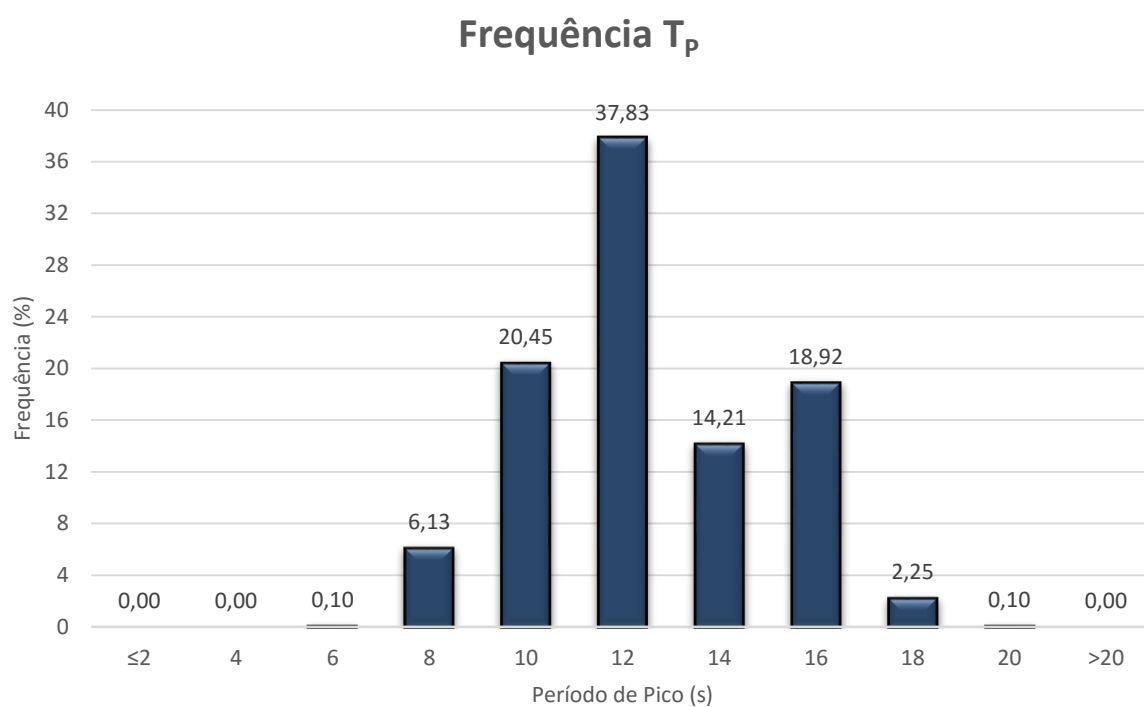


Figura 187 - Frequência do período de pico anual do Porto Moniz

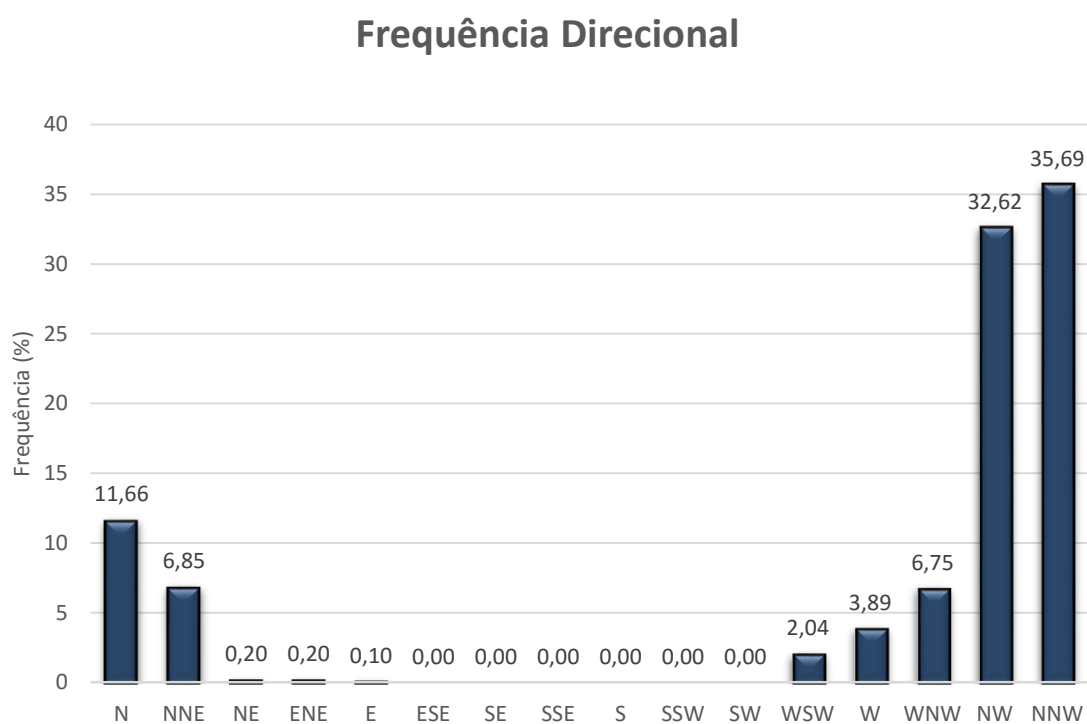


Figura 188 - Frequência direcional anual do Porto Moniz

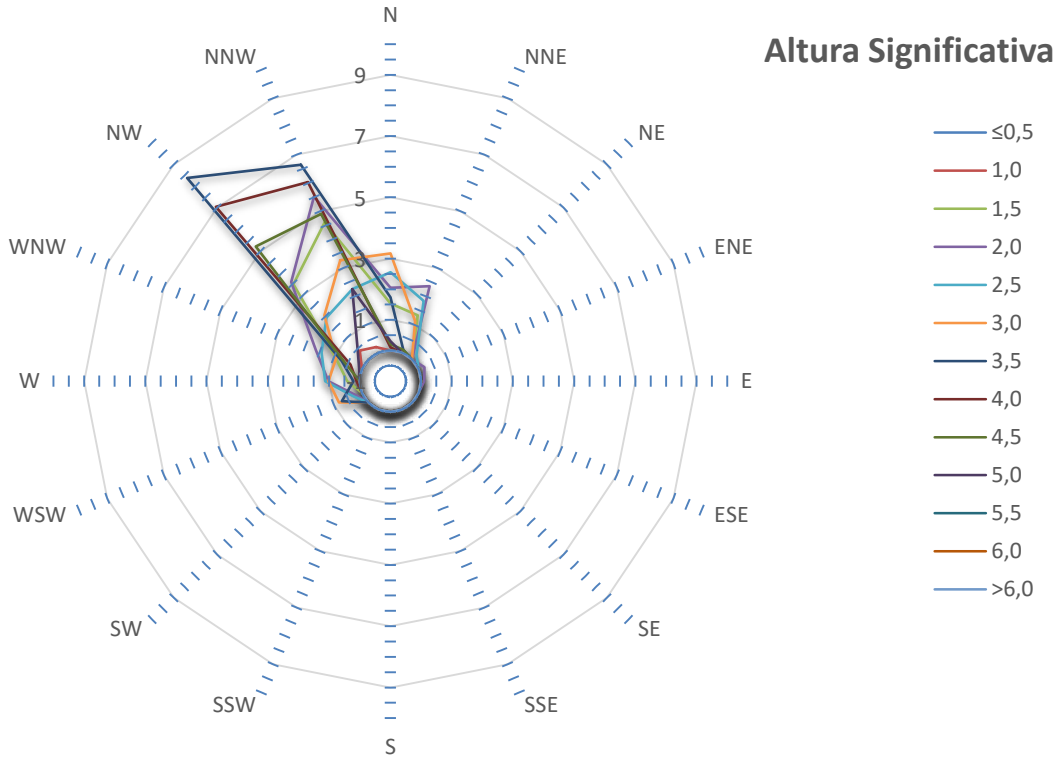


Figura 189 - Direção da altura de onda significativa anual do Porto Moniz

Leis Probabilísticas

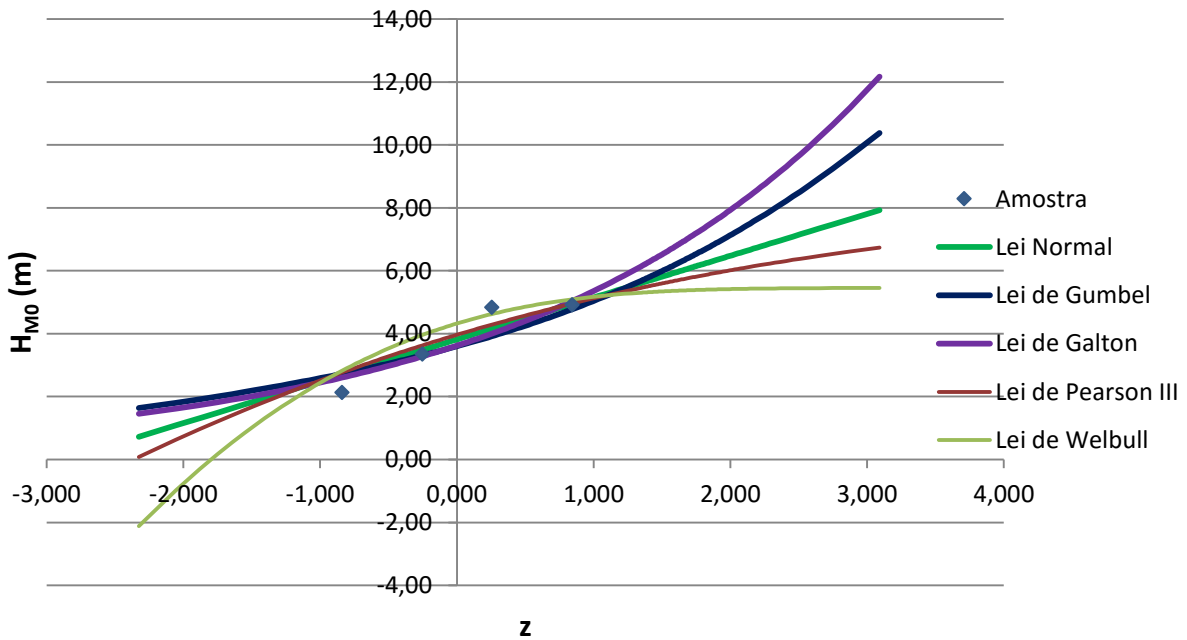


Figura 190 - Leis Probabilísticas

AI.3.3. Carol

AI.3.3.1. Descrição de dados

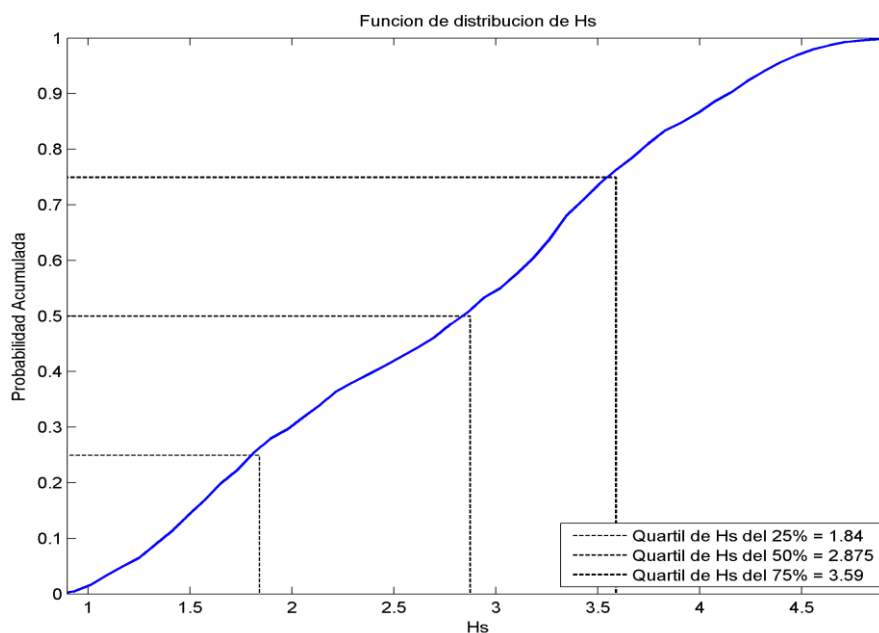


Figura 191 - Função de distribuição da altura significativa do Porto Moniz

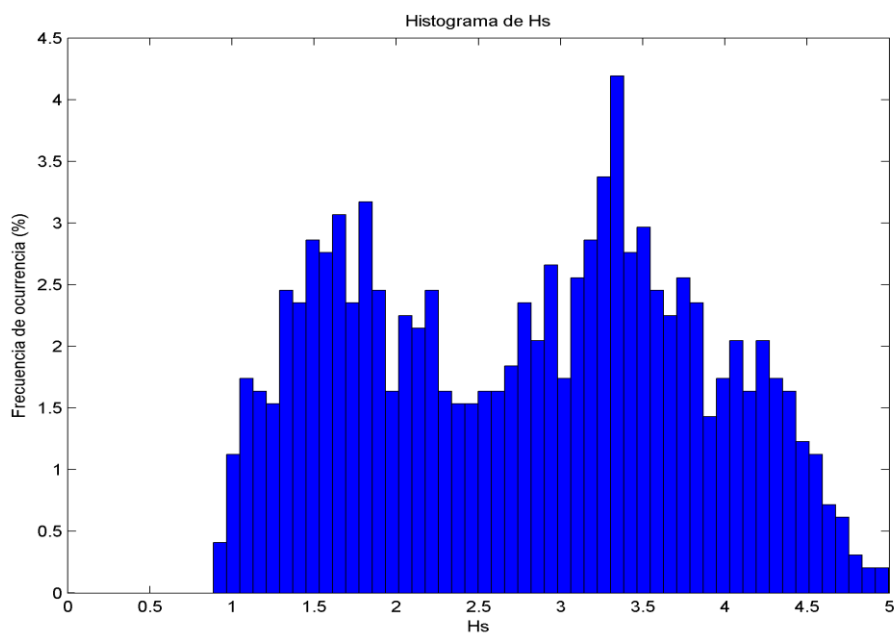


Figura 192 - Histograma das alturas significativas do Porto Moniz

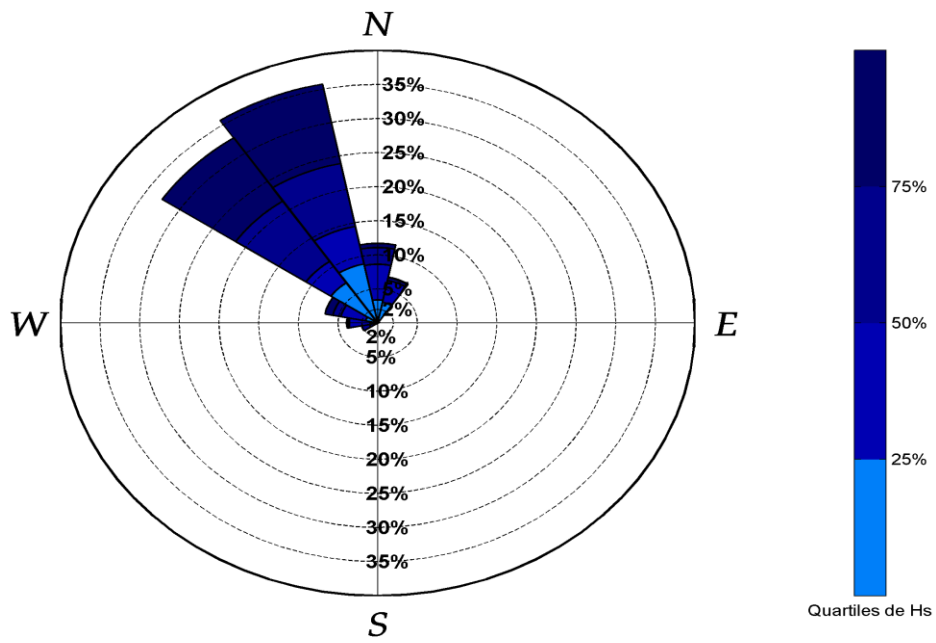


Figura 193 - Rosa dos Ventos distribuição da altura significativa do Porto Moniz

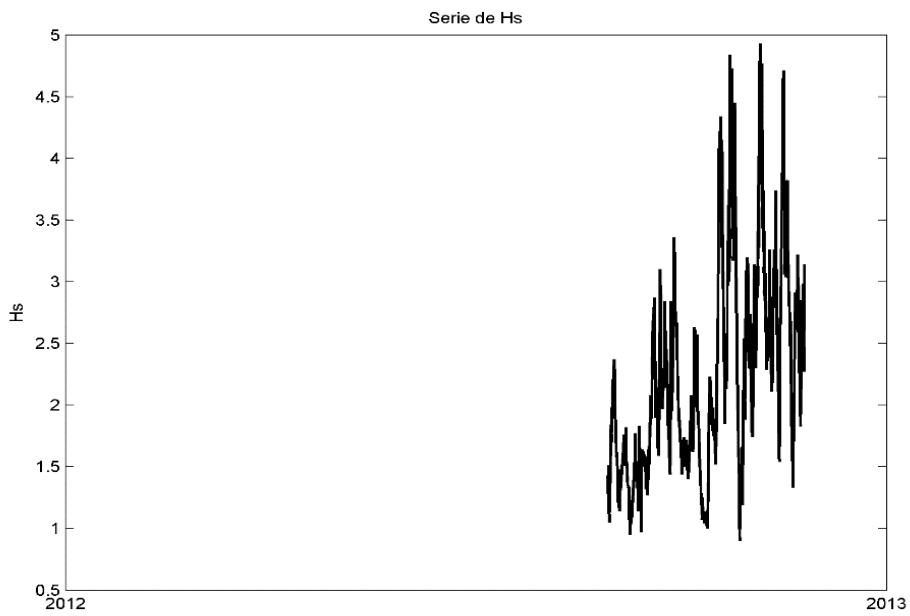


Figura 194 - Serie temporal da altura significativa do Porto Moniz

Al.3.3.2. Regime Médio

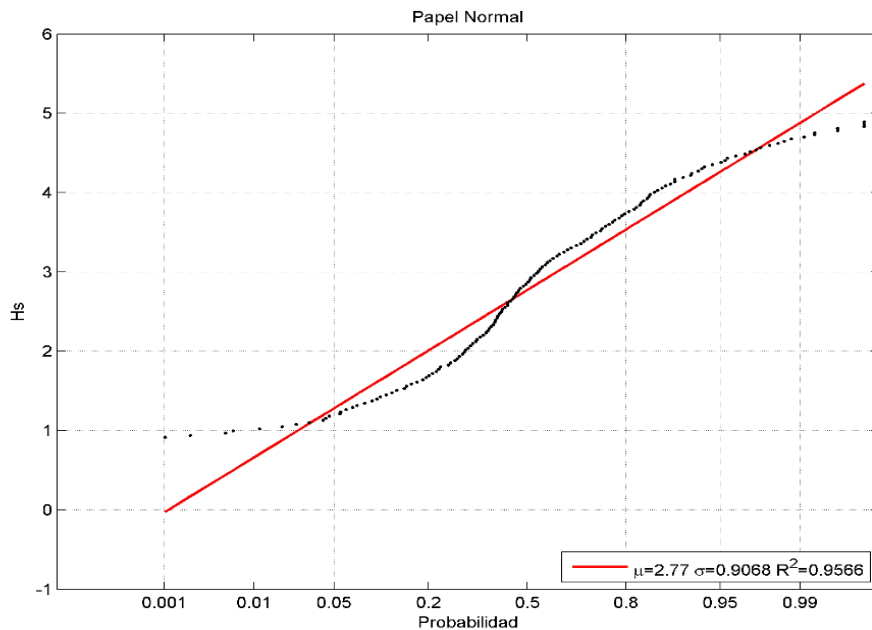


Figura 195 - Distribuição Normal do Porto Moniz

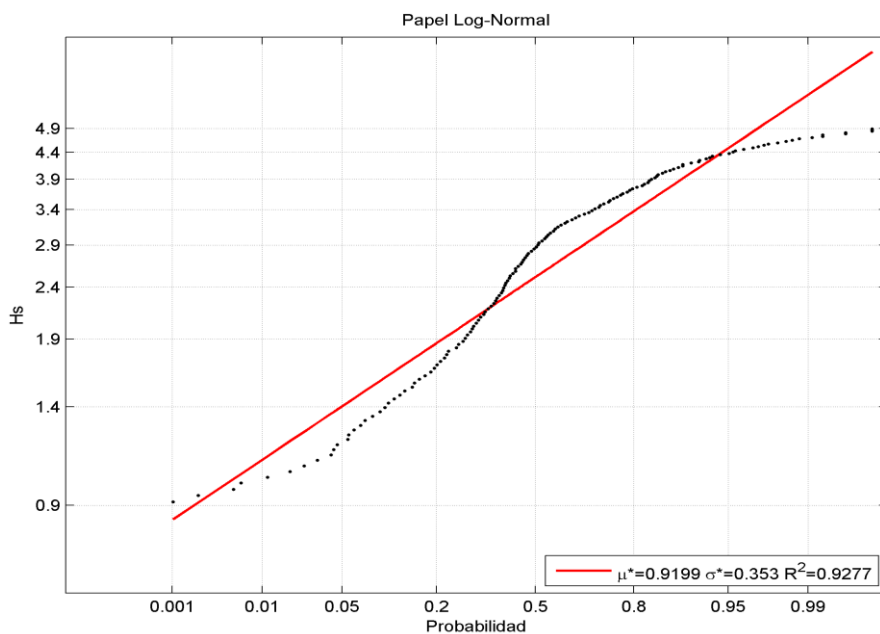


Figura 196 - Distribuição Log-Normal do Porto Moniz

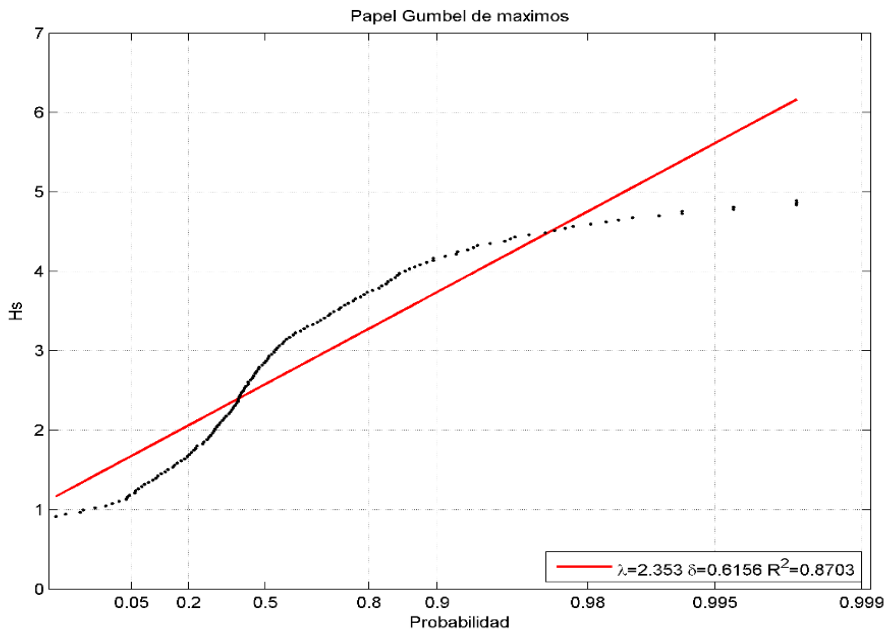


Figura 197 - Distribuição de Gumbel do Porto Moniz

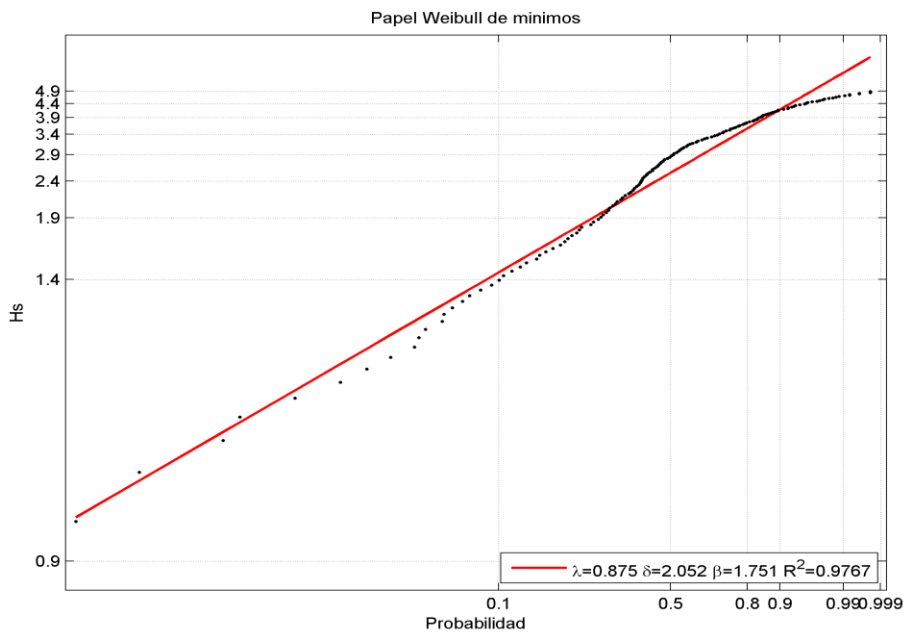


Figura 198 - Distribuição de Weibull do Porto Moniz

Al.3.3.3. Regime de Extremos

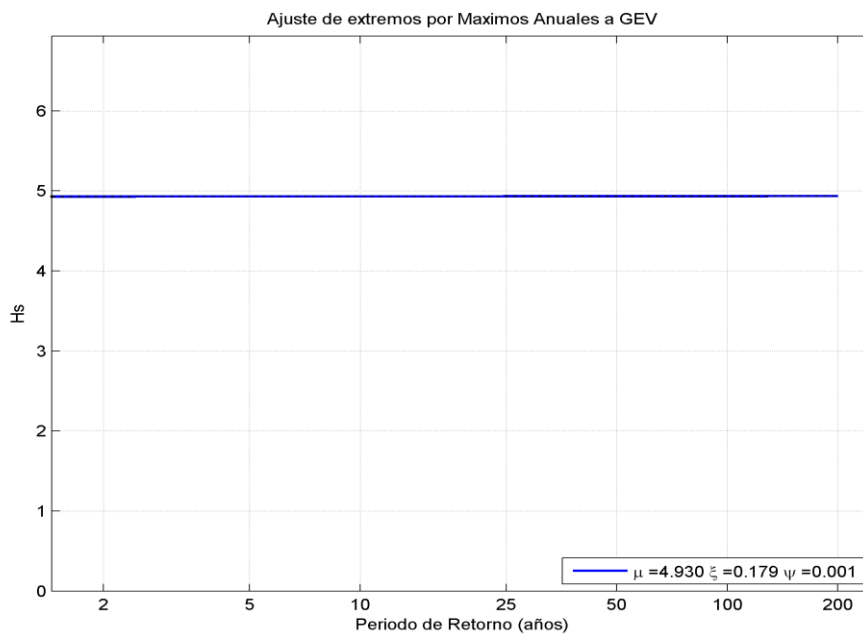


Figura 199 - GEV do Porto Moniz

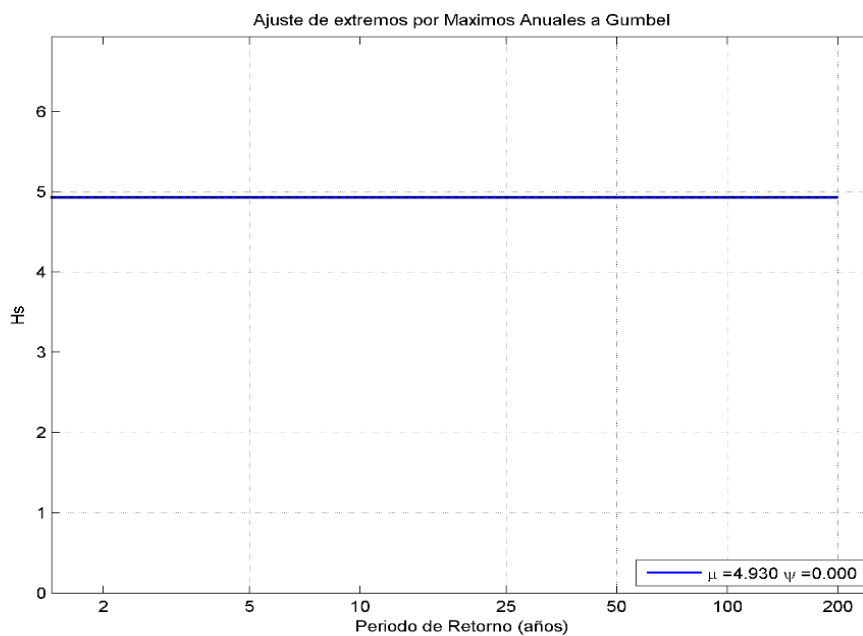


Figura 200 - Gumbel máximos anuais do Porto Moniz

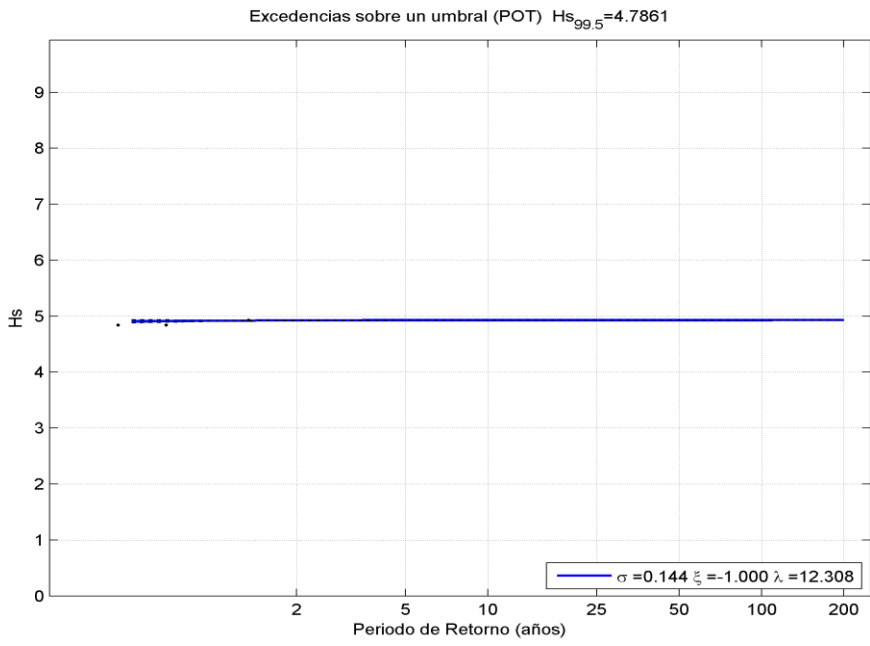


Figura 201 - POT do Porto Moniz

AI.3.4. Mopla

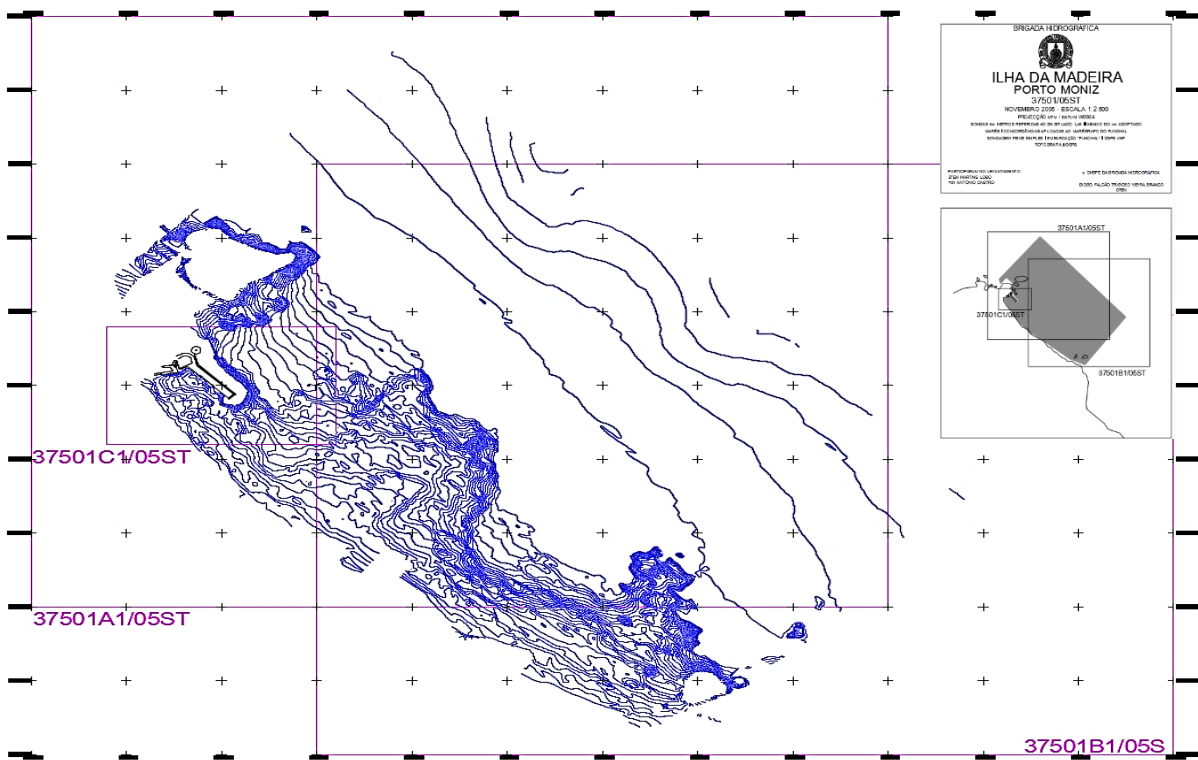


Figura 202 - Batimetria do Porto Moniz

Tabela 28 - Resultados obtidos para o Porto do Porto Moniz

Malha	Coordenadas	Altura de onda							
		G1	G2	H1	H2	I1	I2	J1	J2
M2	297363.50 3638637.64 - 5.93	6.8	4.8	5.7	4.4	5.8	3.0	4.6	3.7
	297563.49 3638477.65 - 4.26	5.2	6.2	5.3	4.8	6.3	4.8	7.0	6.0
	297406.36 3638629.07 - 6.61	5.9	4.5	7.8	5.3	4.7	3.1	5.2	4.8
	297463.50 3638634.79 - 7.85	5.2	5.7	6.5	6.3	6.9	6.7	6.2	5.9
	297474.93 3638594.79 - 2.37	5.1	4.9	6.8	4.9	8.9	5.0	5.5	5.0
	297472.07 3638609.07 - 5.59	5.2	6.0	7.1	6.2	8.6	7.1	6.0	6.5
	297559.21 3638464.79 - 2.97	5.3	5.4	5.3	4.3	5.4	4.4	7.8	6.1
	297547.78 3638504.79 - 5.36	4.54.8	4.9	5.14.4	4.3	5.5	4.7	6.4	7.6

AI.3.4.1. Caso G1

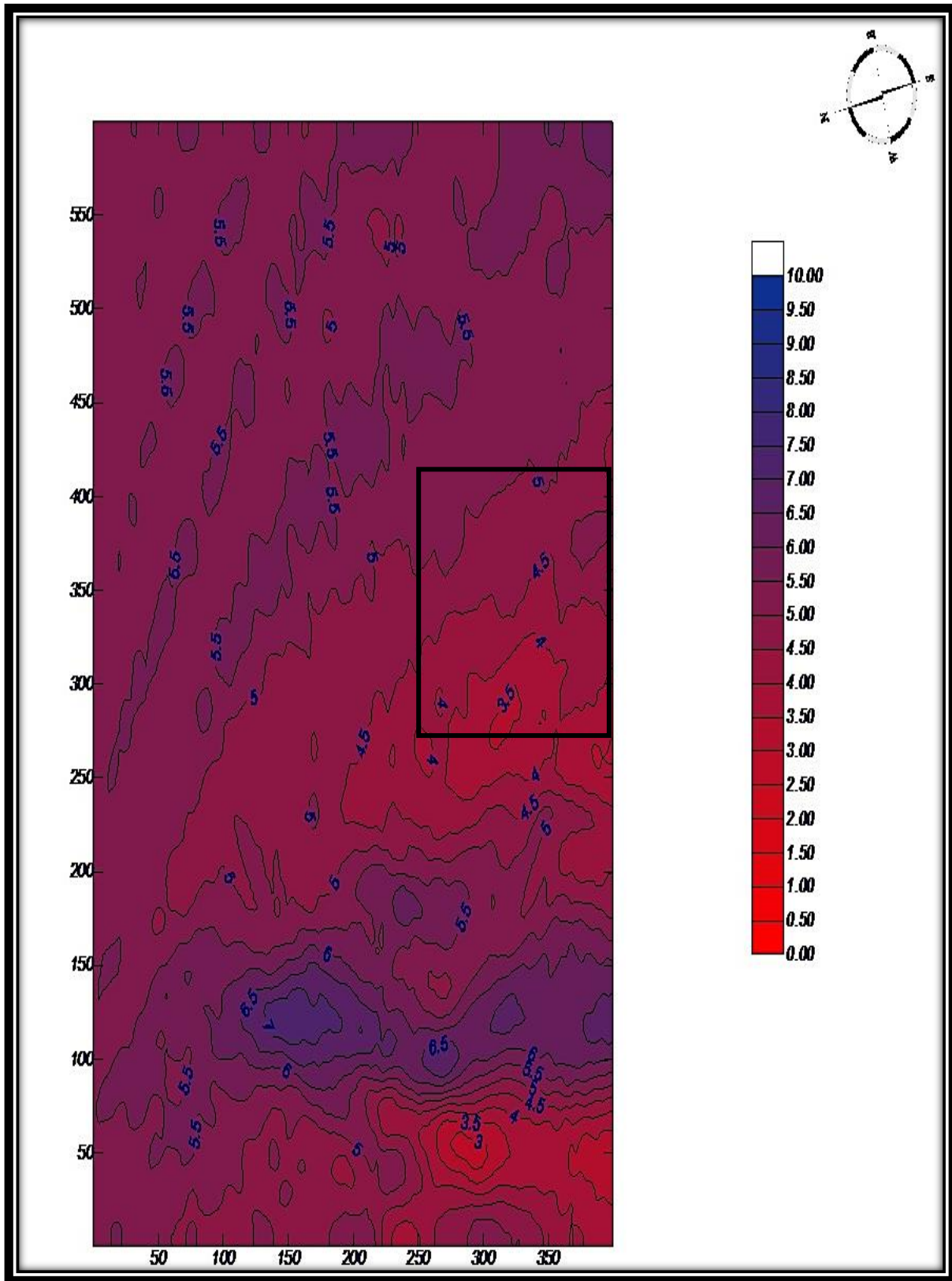


Figura 203 - Altura de onda, caso M2 - G1

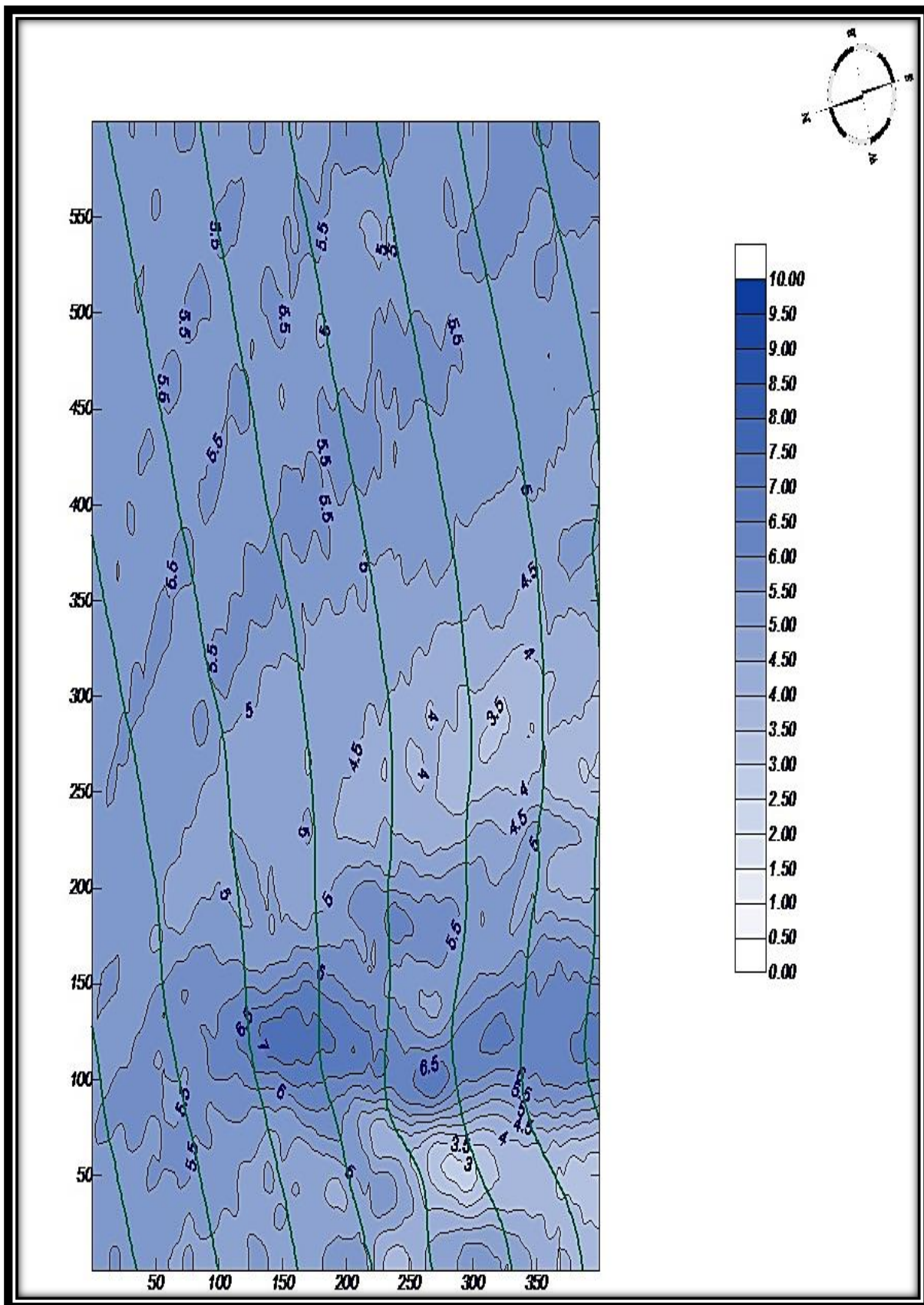


Figura 204 - Propagação da altura de onda, caso M2 - G1

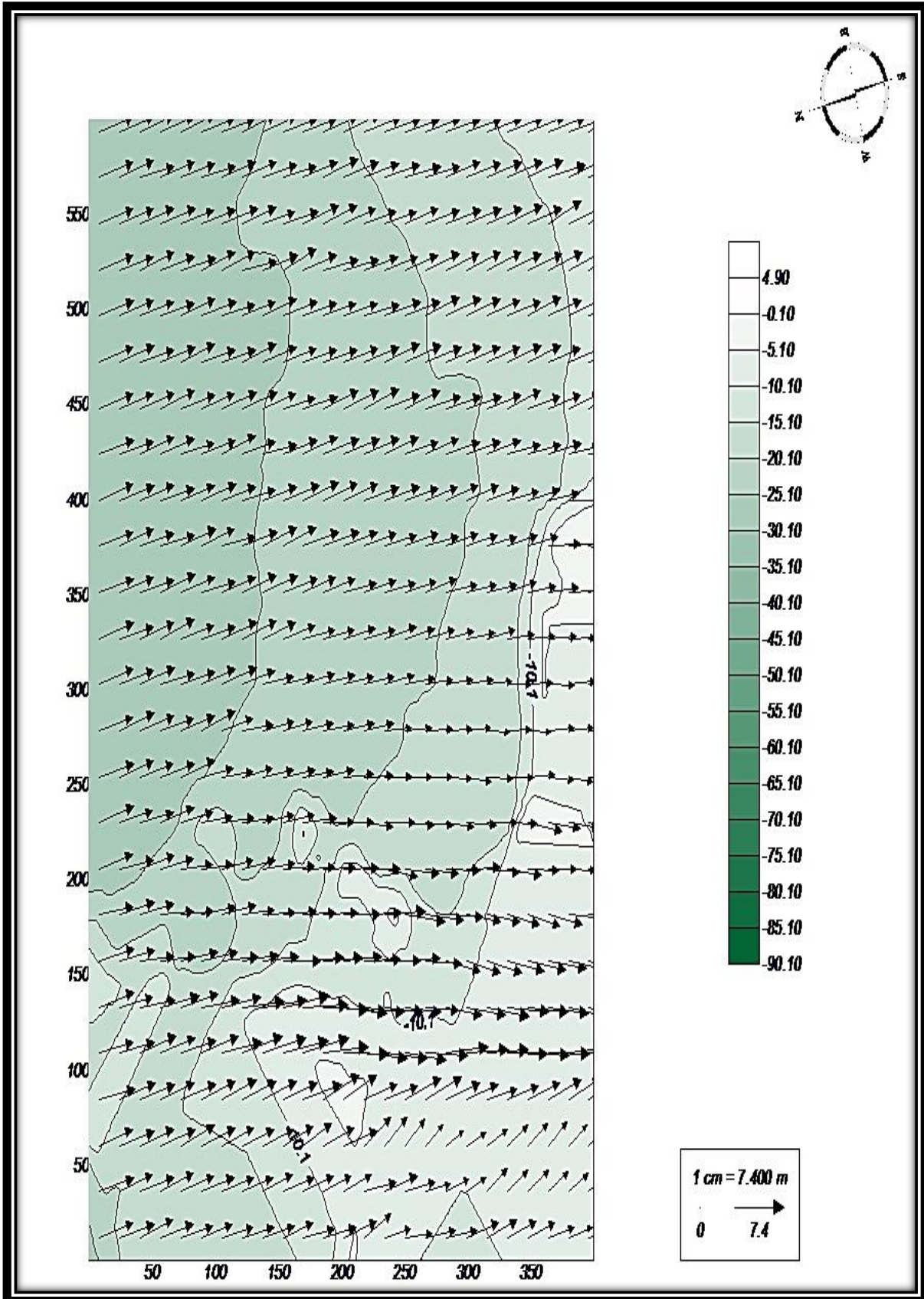


Figura 205 - Direção da onda, caso M2 - G1

Al.3.4.2. Caso G2

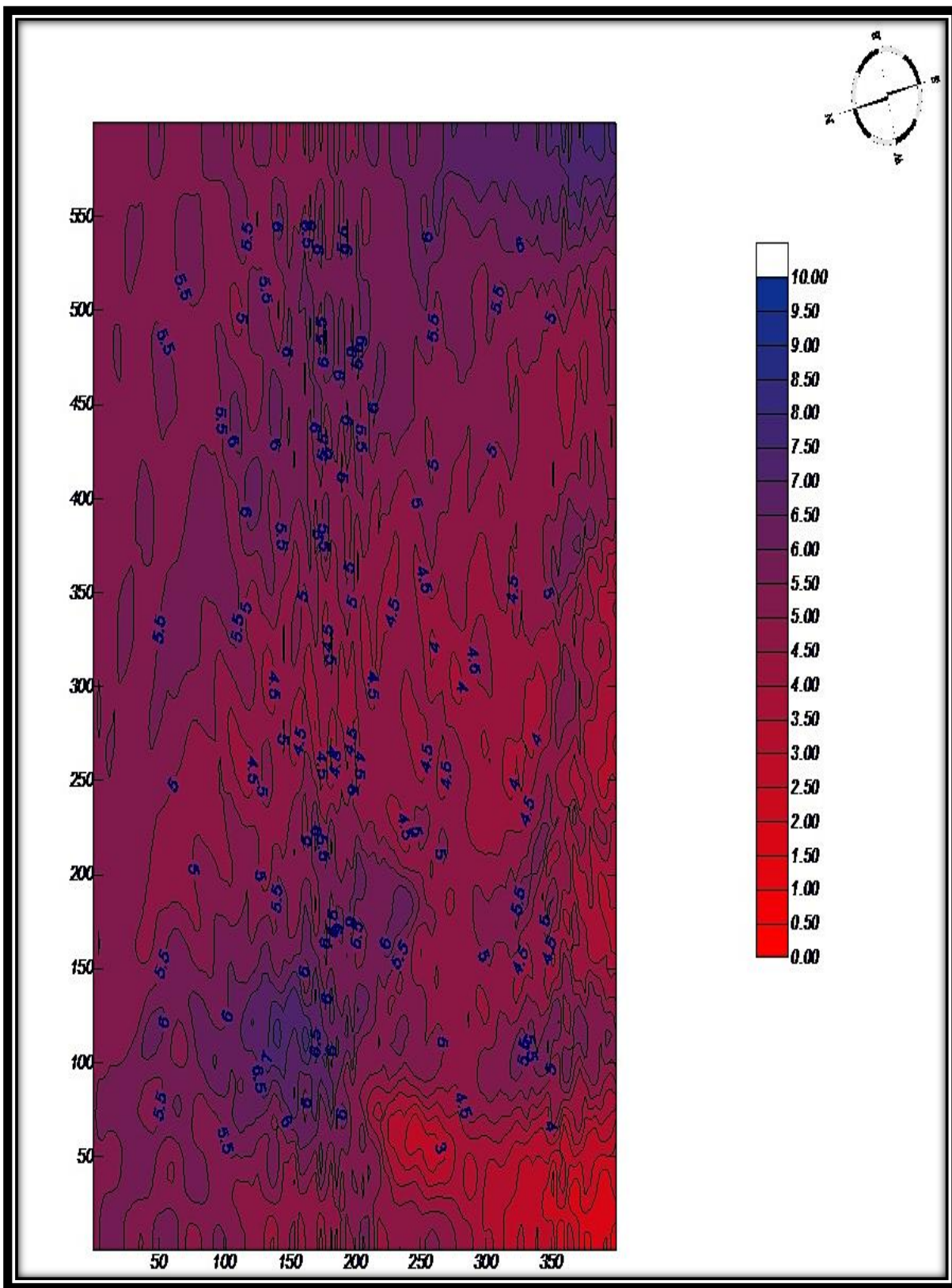


Figura 206 - Altura de onda, caso M2 - G2

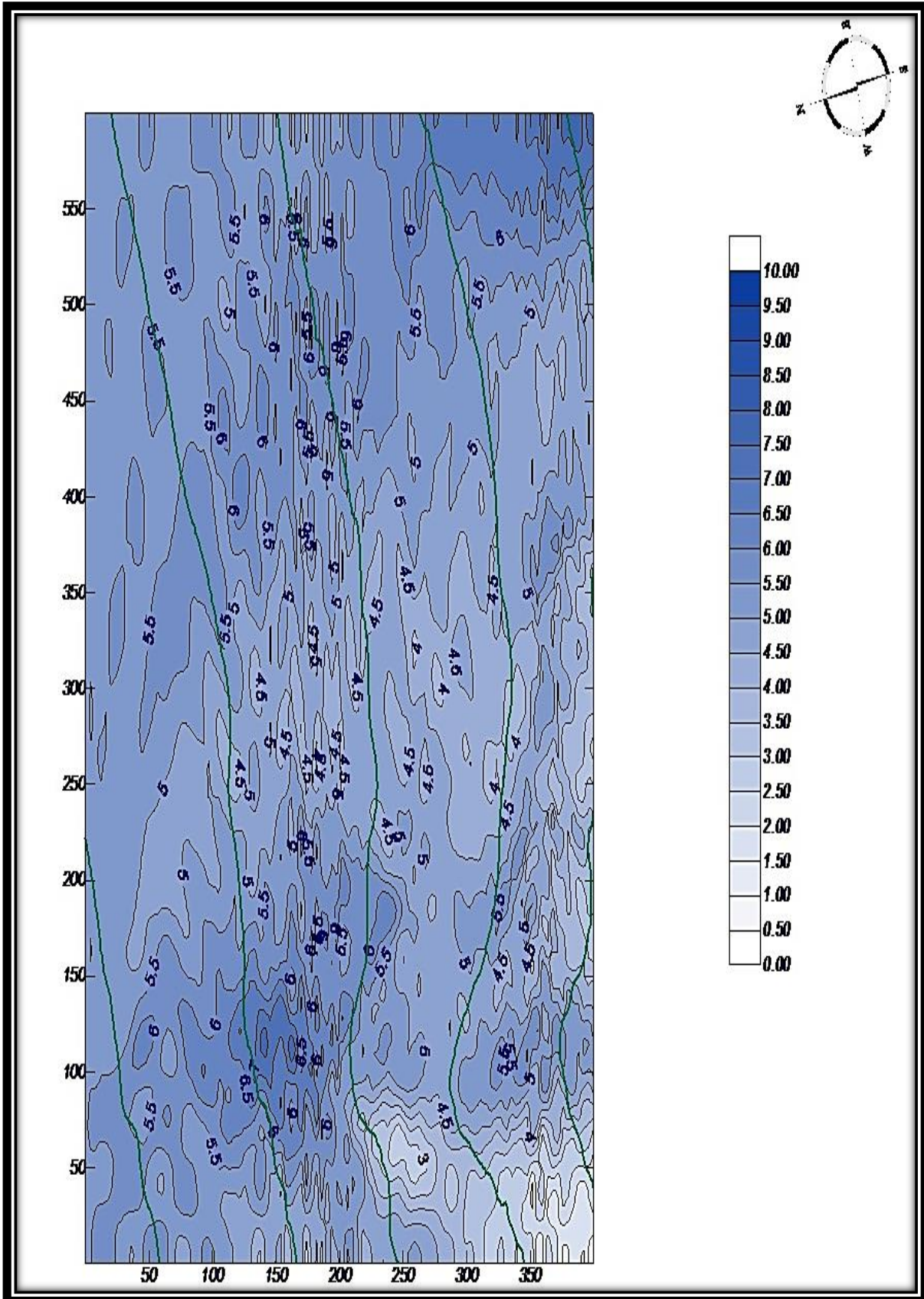


Figura 207 - Propagação da altura de onda, caso M2 - G2

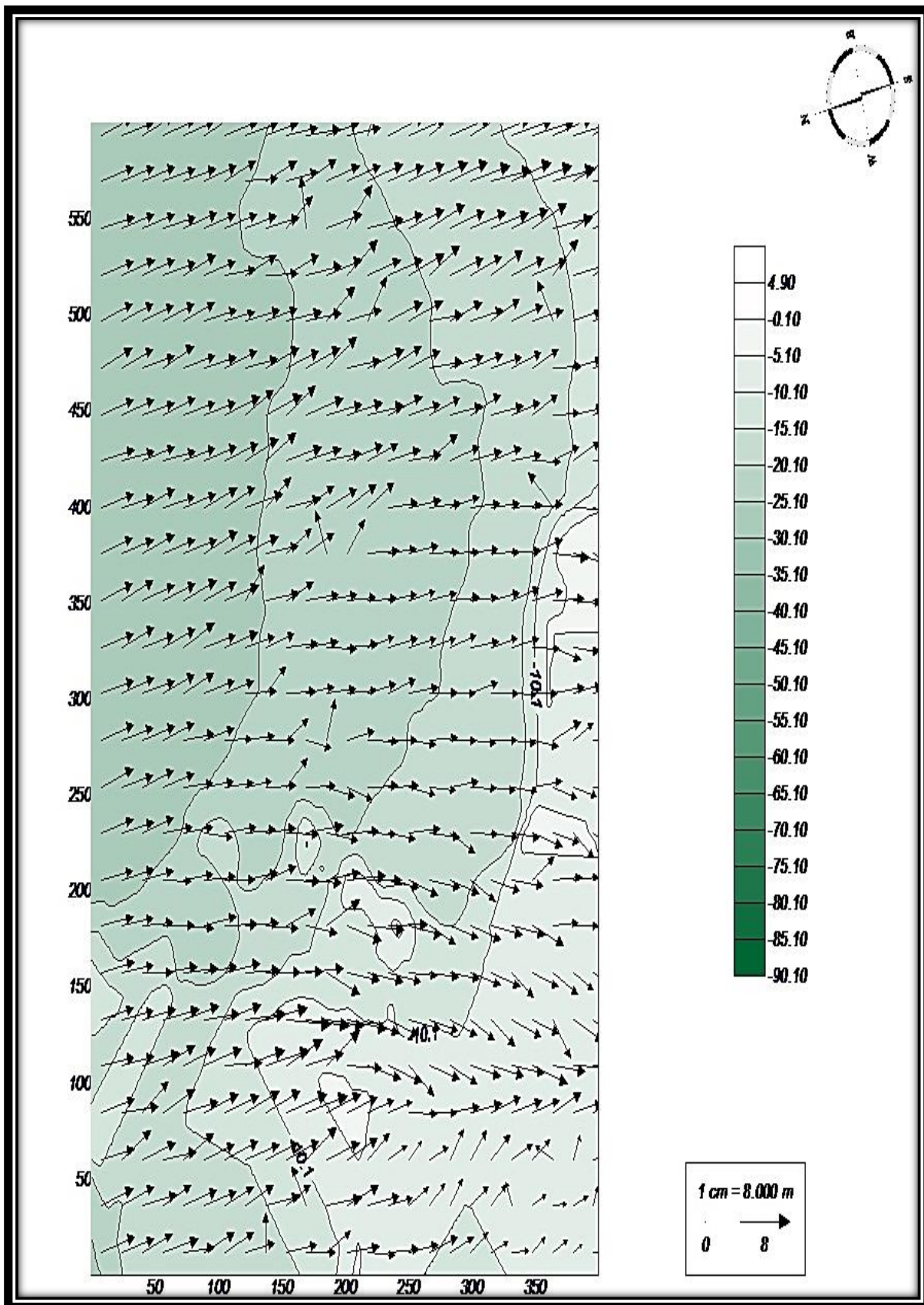


Figura 208 - Direção da onda, caso M2 - G2

AI.3.4.3. Caso H1

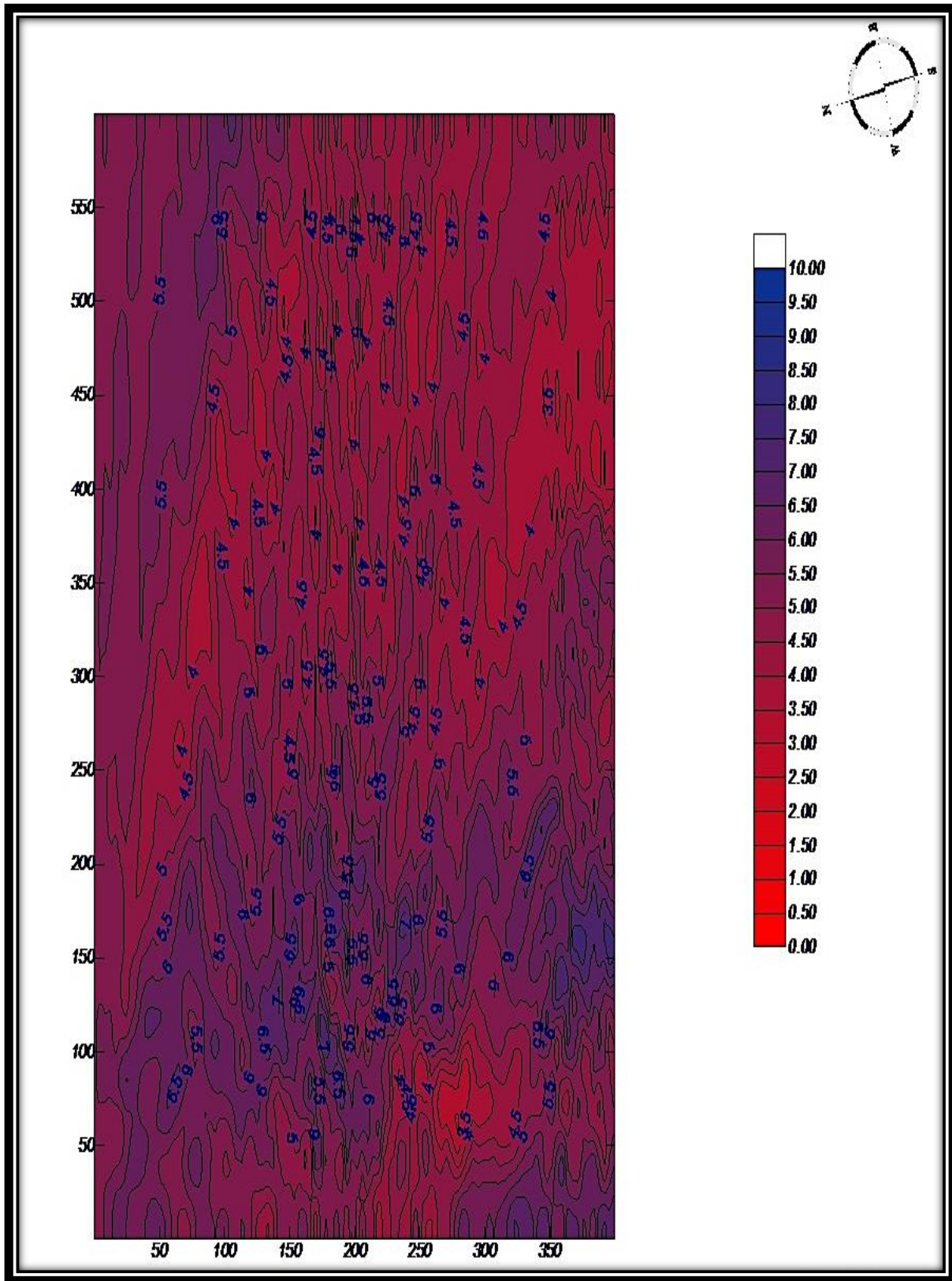


Figura 209 - Altura de onda, caso M2 - H1

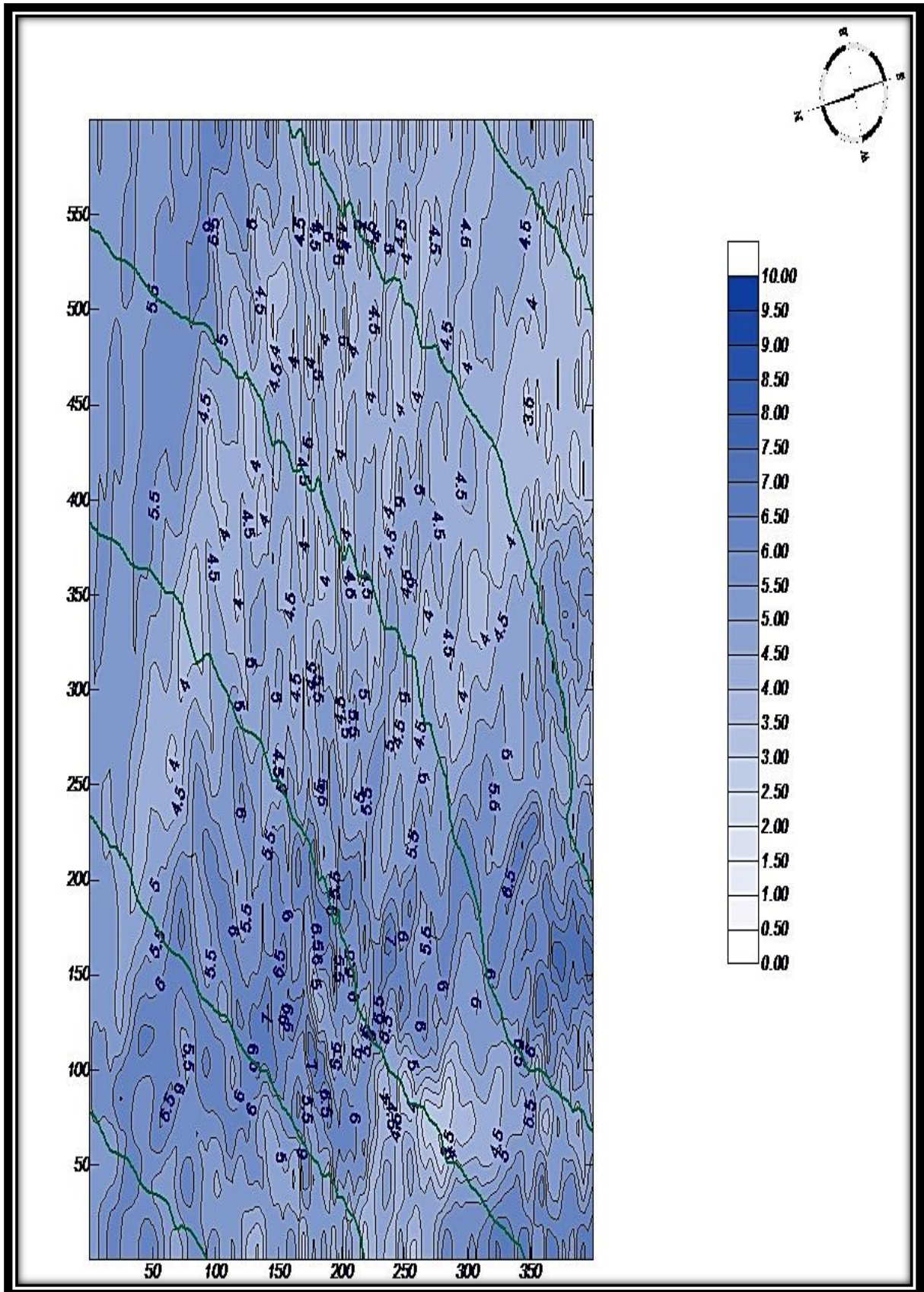


Figura 210 - Propagação da altura de onda, caso M2 - H1

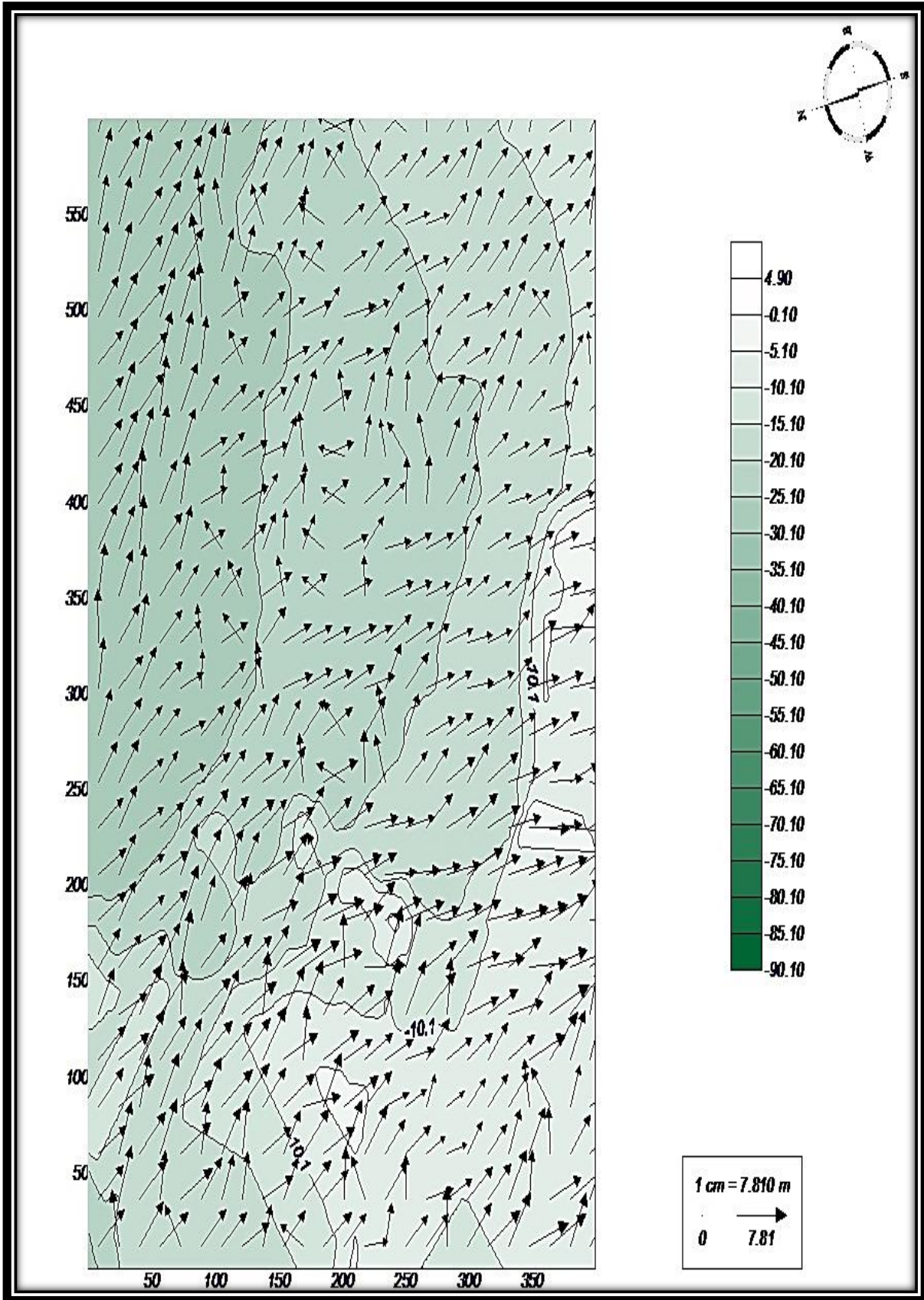


Figura 211 - Direção da onda, caso M2 - H1

Al.3.4.4. Caso H2

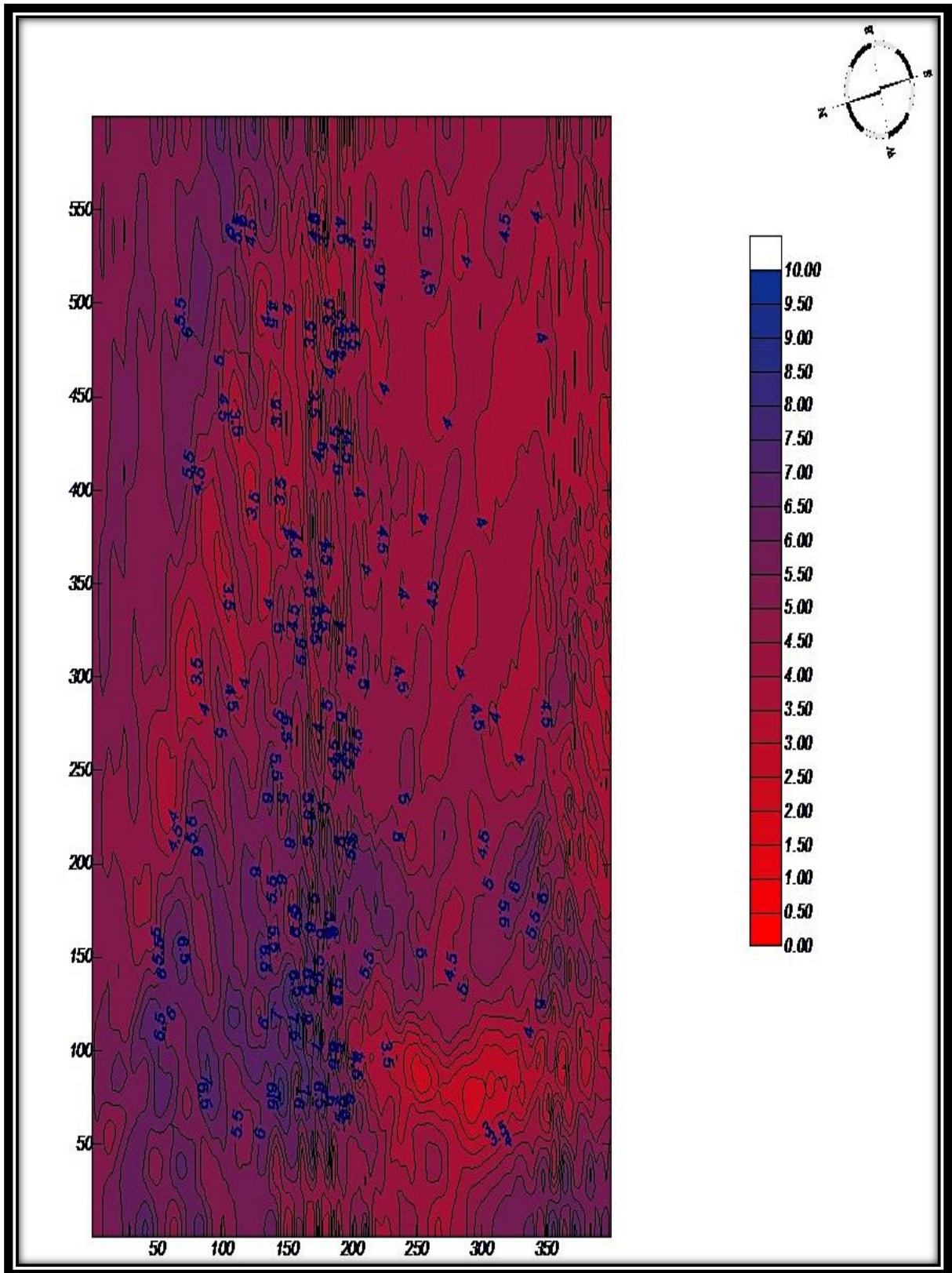


Figura 212 - Altura de onda, caso M2 - H2

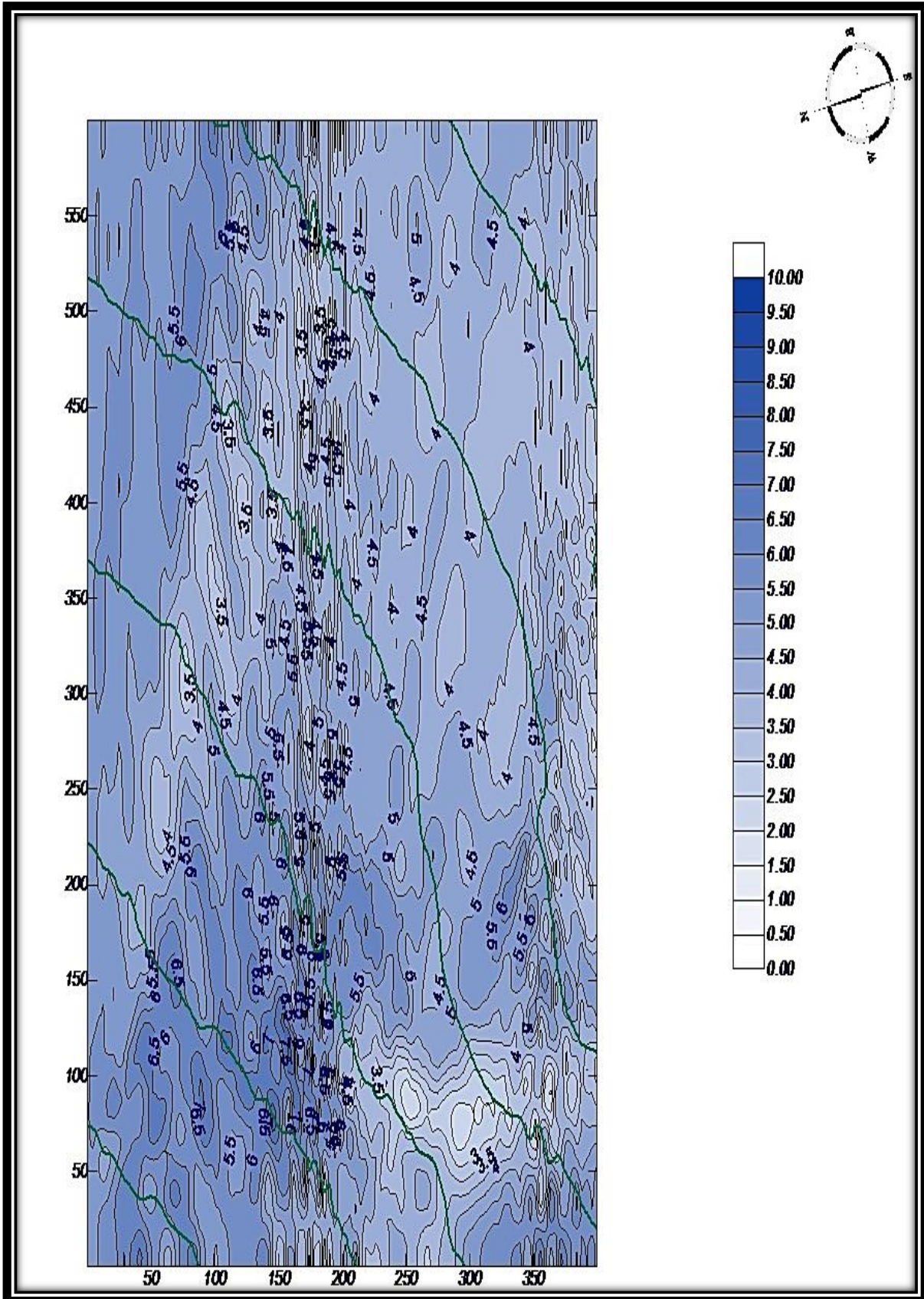


Figura 213 - Propagação da altura de onda, caso M2 - H2

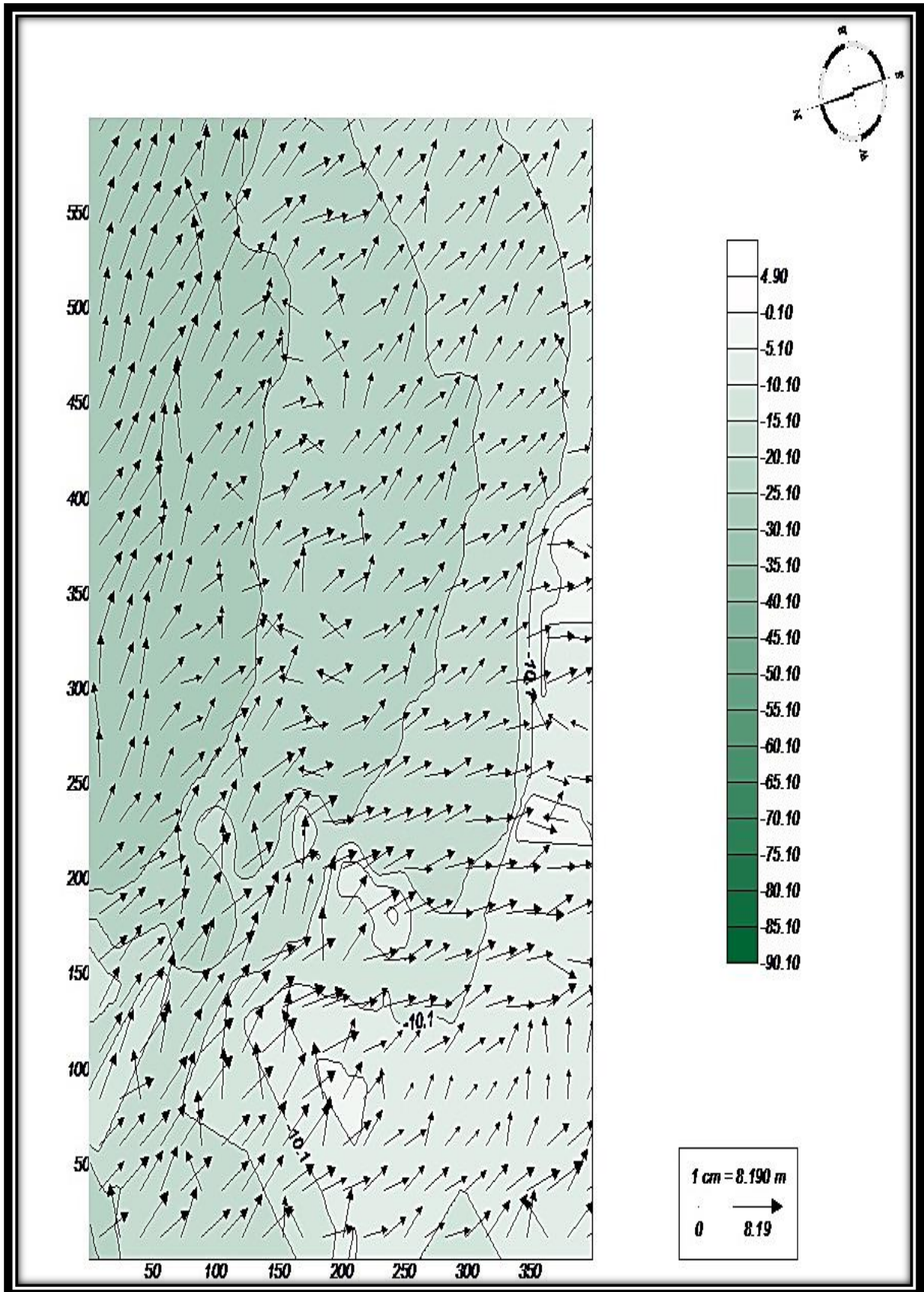


Figura 214 - Direção da onda, caso M2 - H2

Al.3.4.5. Caso I1

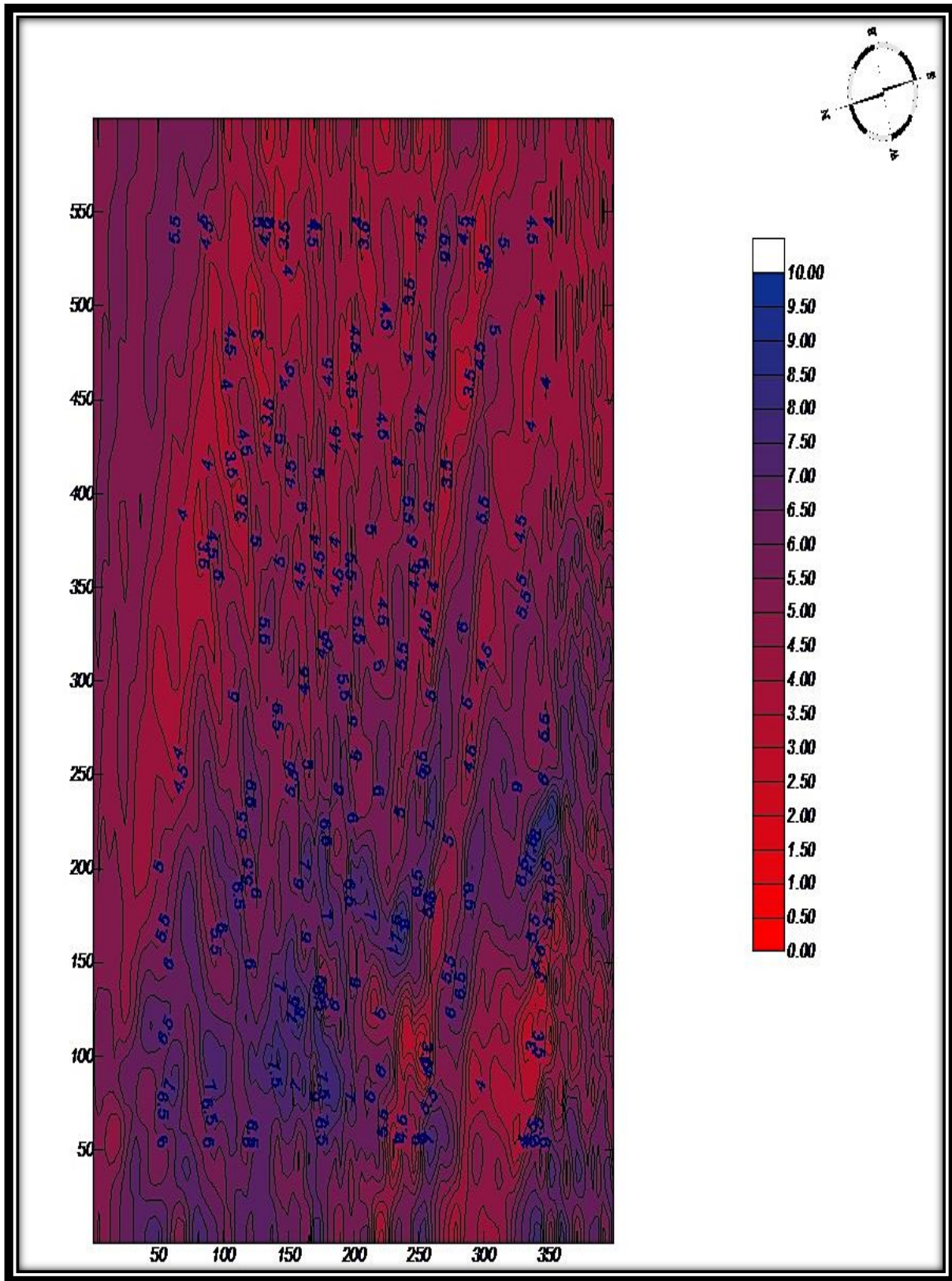


Figura 215 - Altura de onda, caso M2 - I1

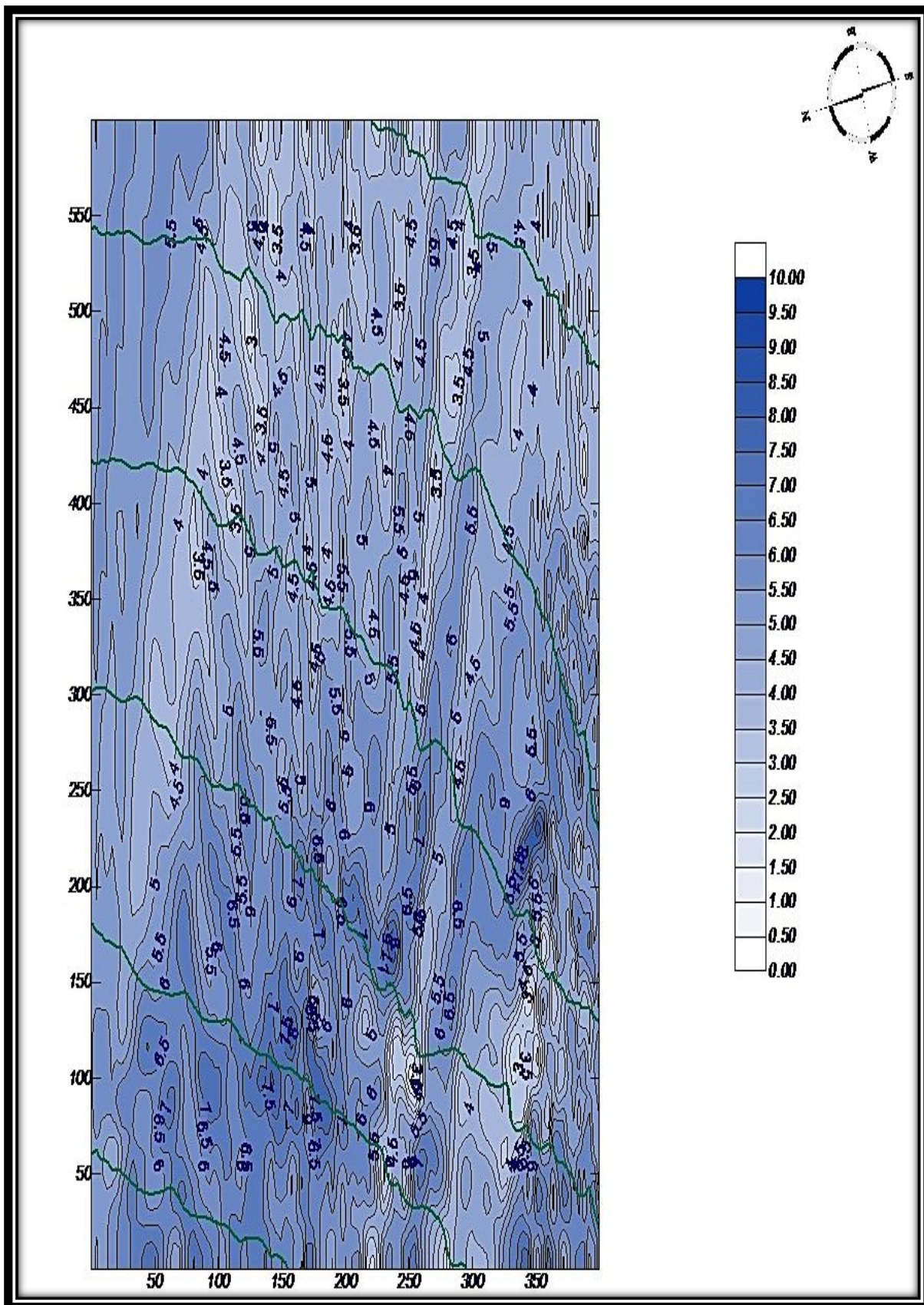


Figura 216 - Propagação da altura de onda, caso M2 - I1

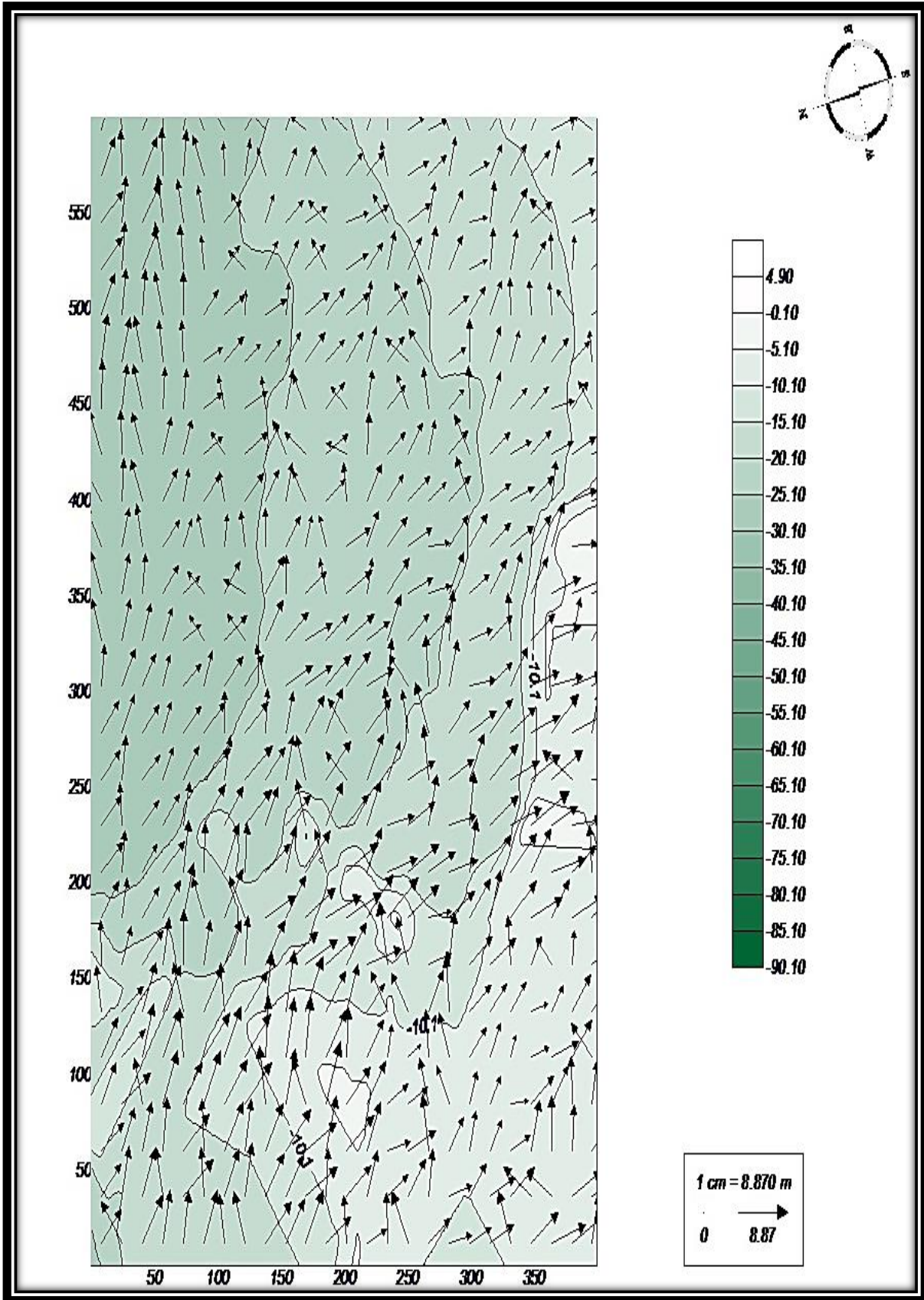


Figura 217 - Direção da onda, caso M2 - 11

Al.3.4.5. Caso I2

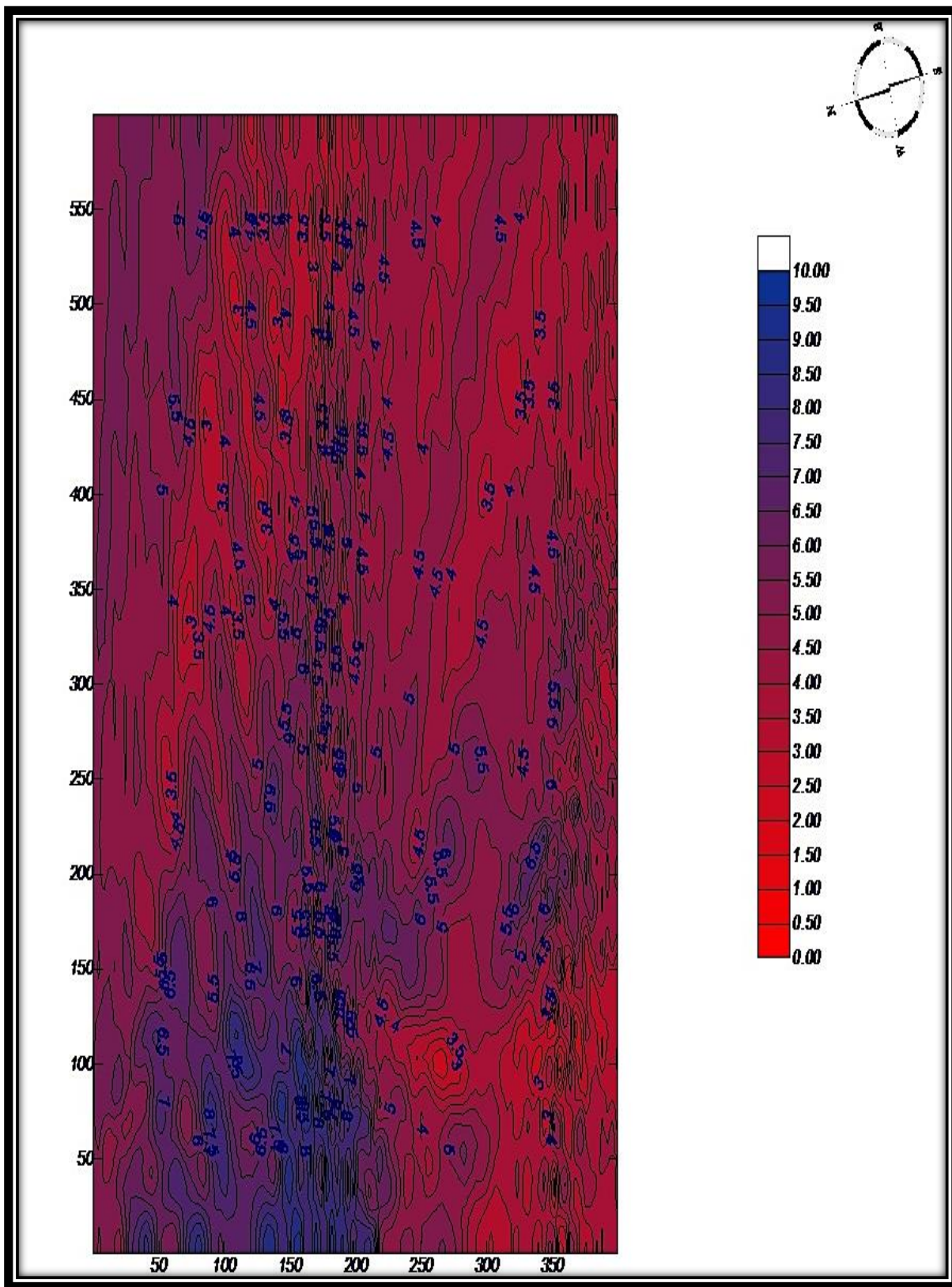


Figura 218 - Altura de onda, caso M2 - I2

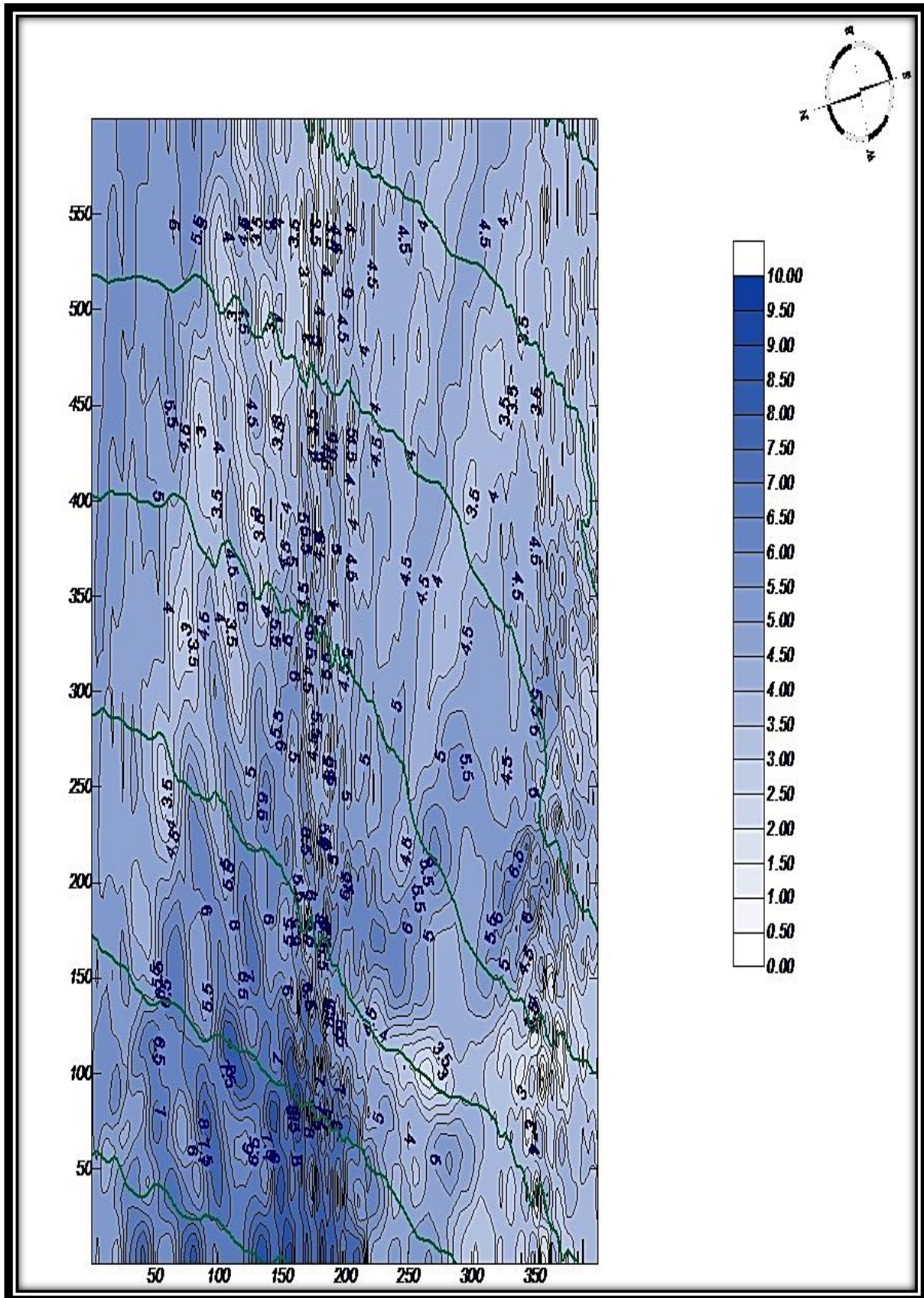


Figura 219 - Propagação da altura de onda, caso M2 - I2

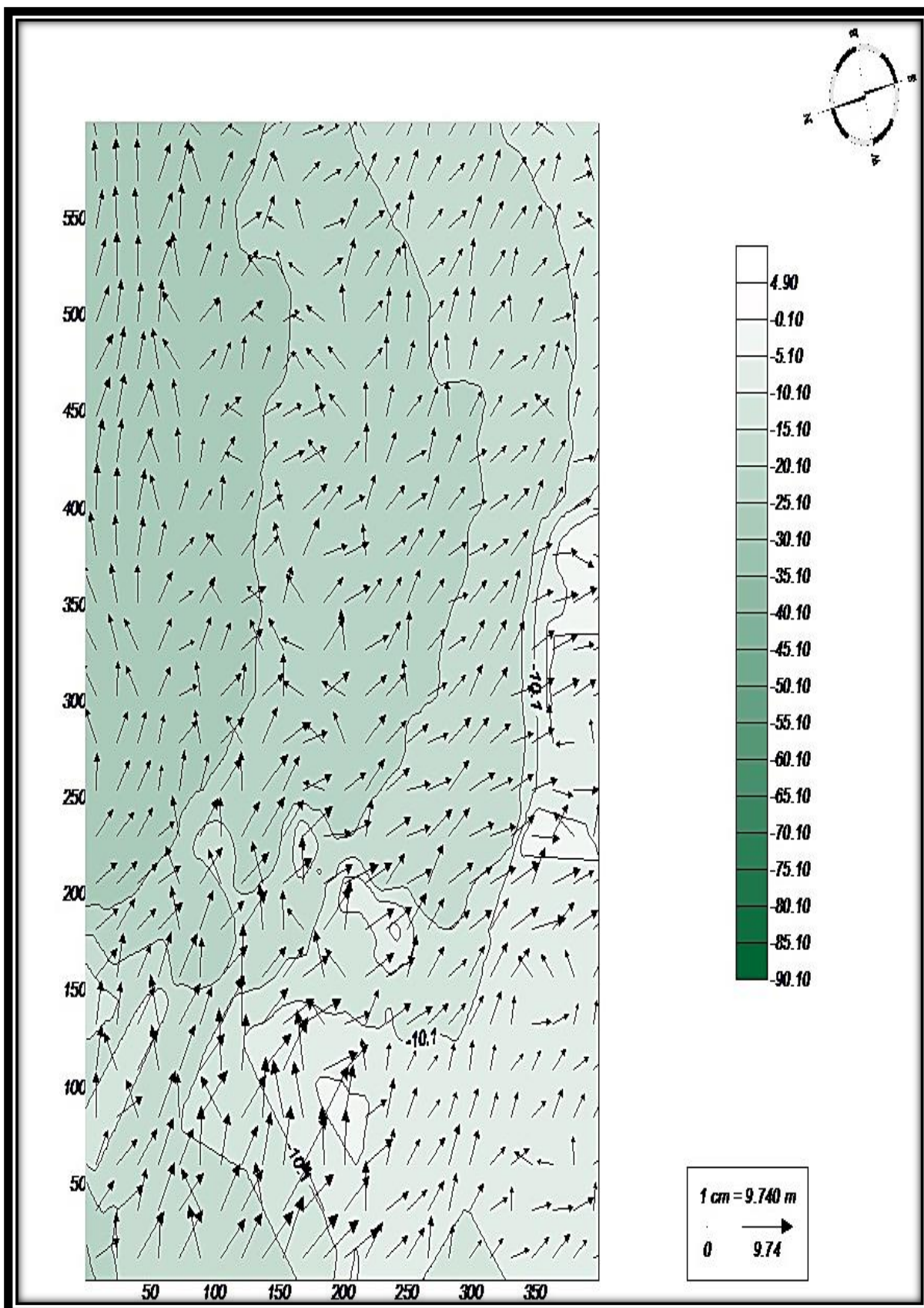


Figura 220 - Direção da onda, caso M2 - I2

AI.3.4.6. Caso J1

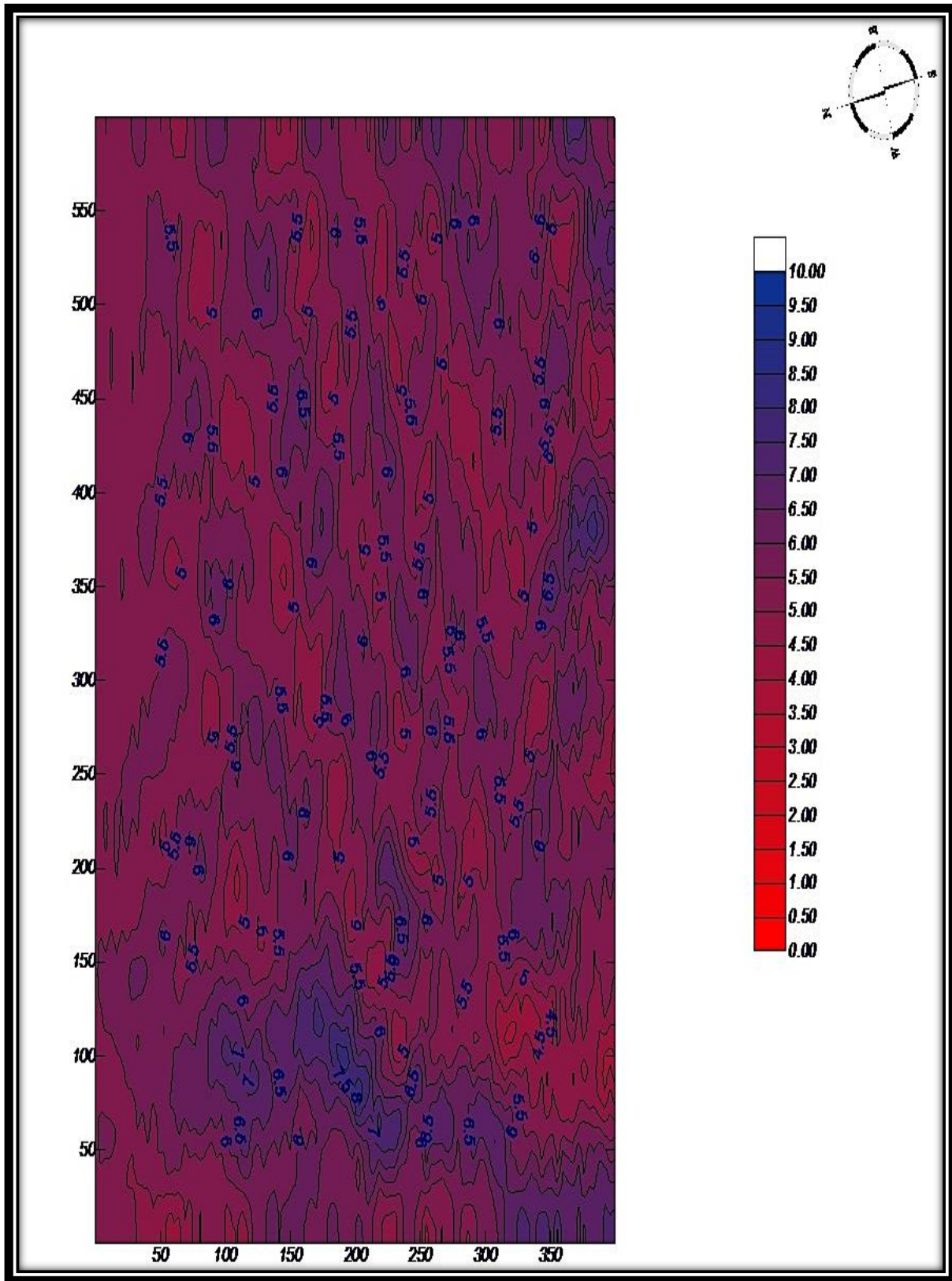


Figura 221 - Altura de onda, caso M2 - J1

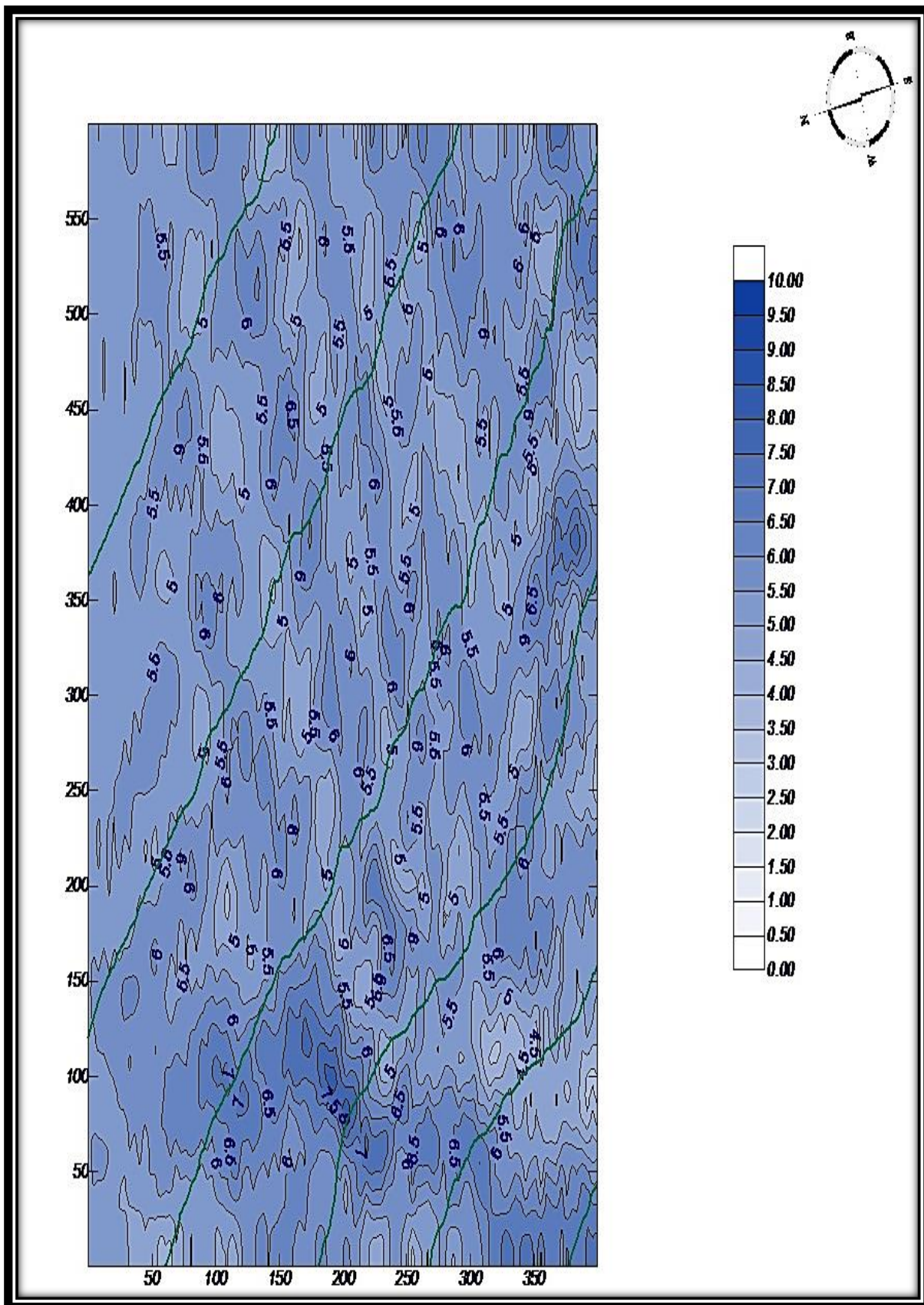


Figura 222 - Propagação da altura de onda, caso M2 - J1

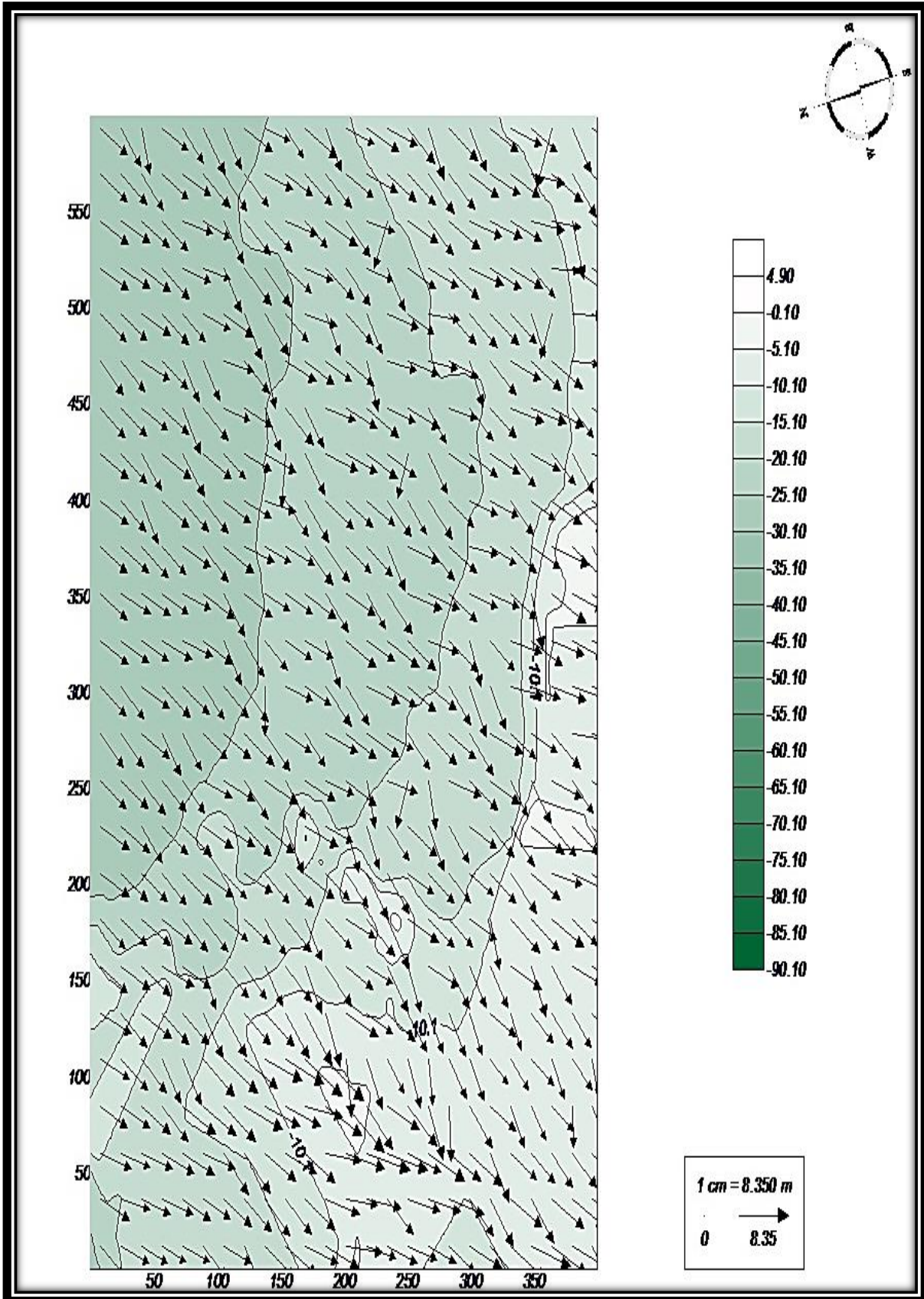


Figura 223 - Direção da onda, caso M2 - J1

Al.3.4.6. Caso J2

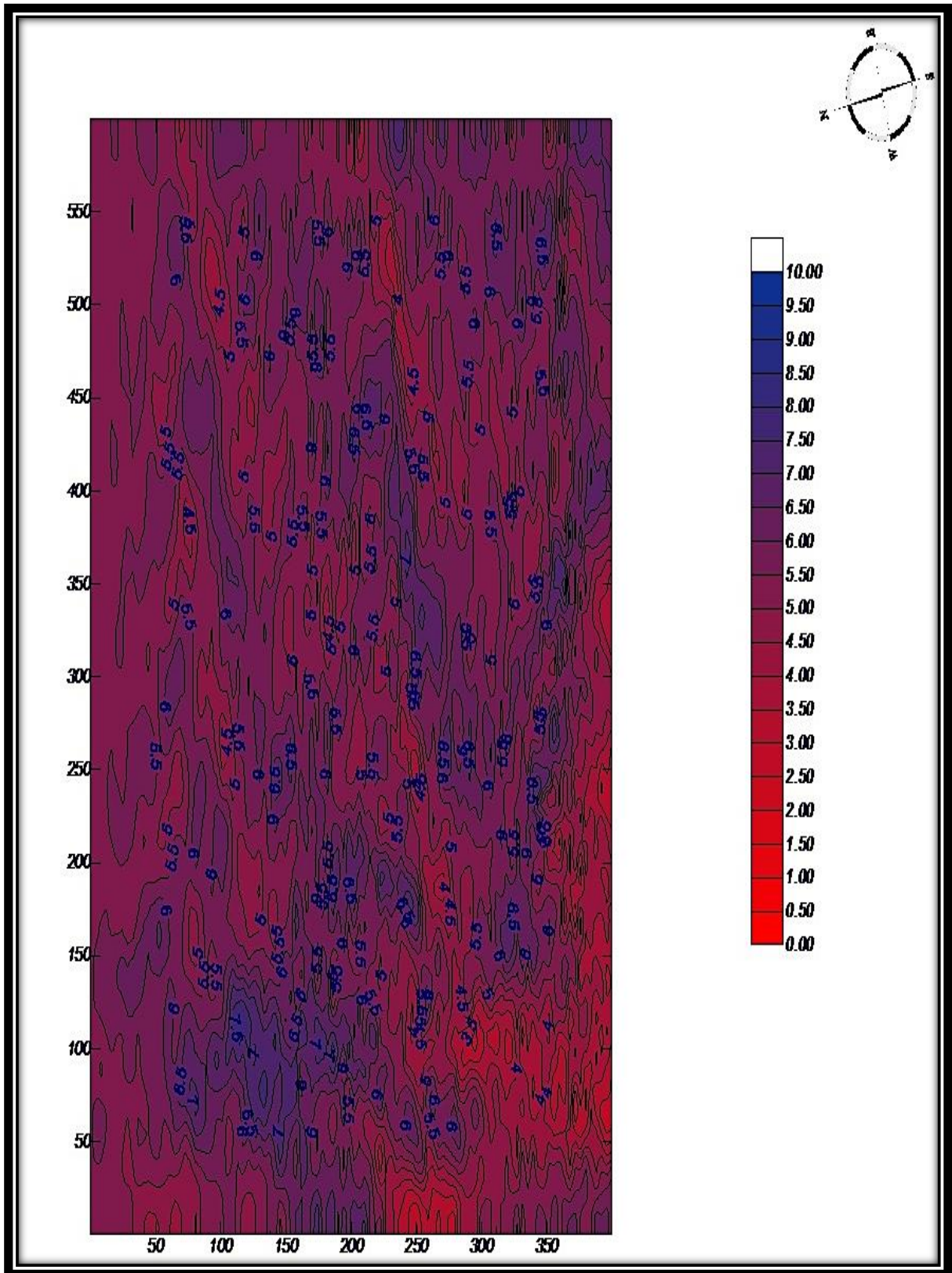


Figura 224 - Altura de onda, caso M2 - J2

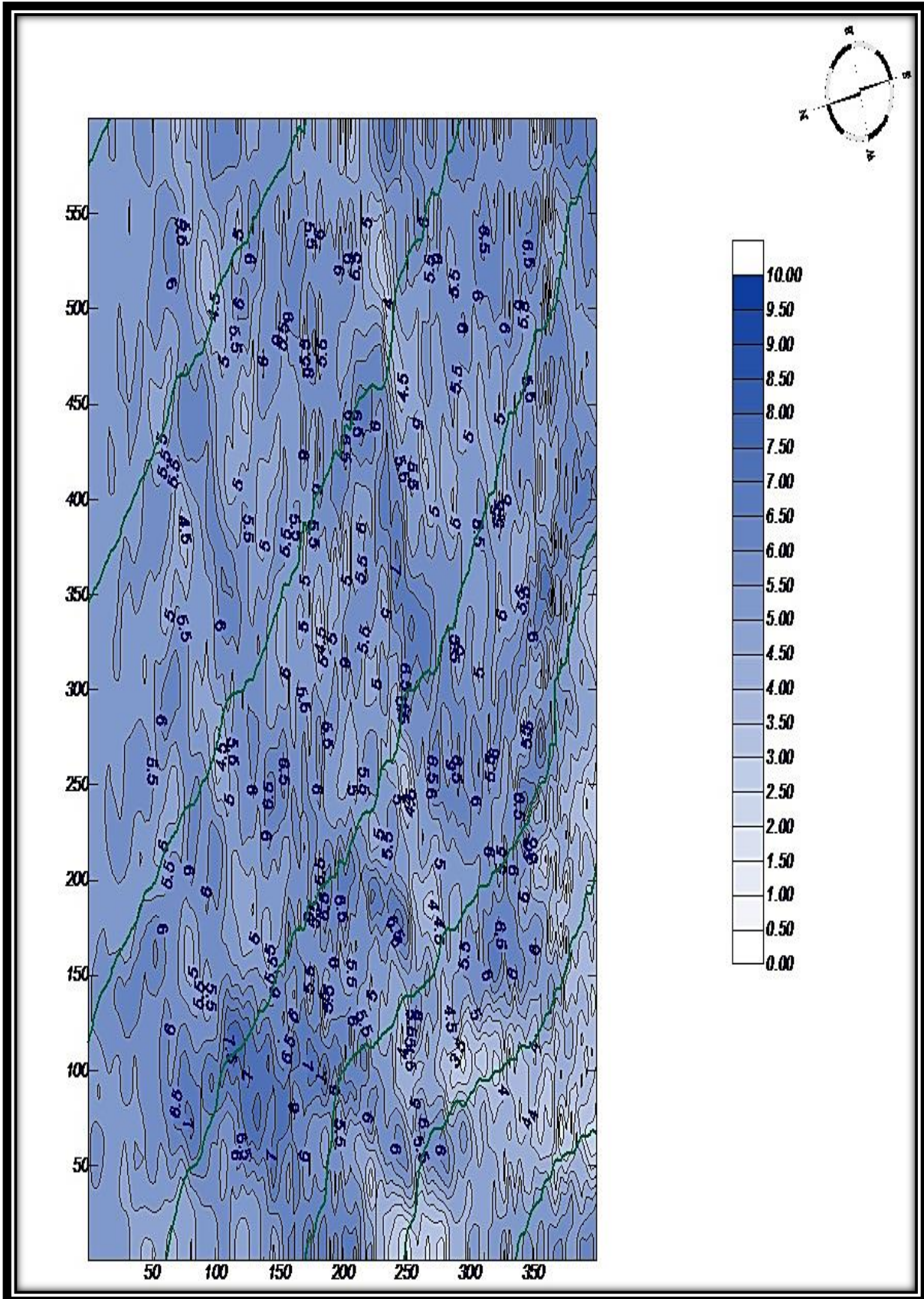


Figura 225 - Propagação da altura de onda, caso M2 - J2

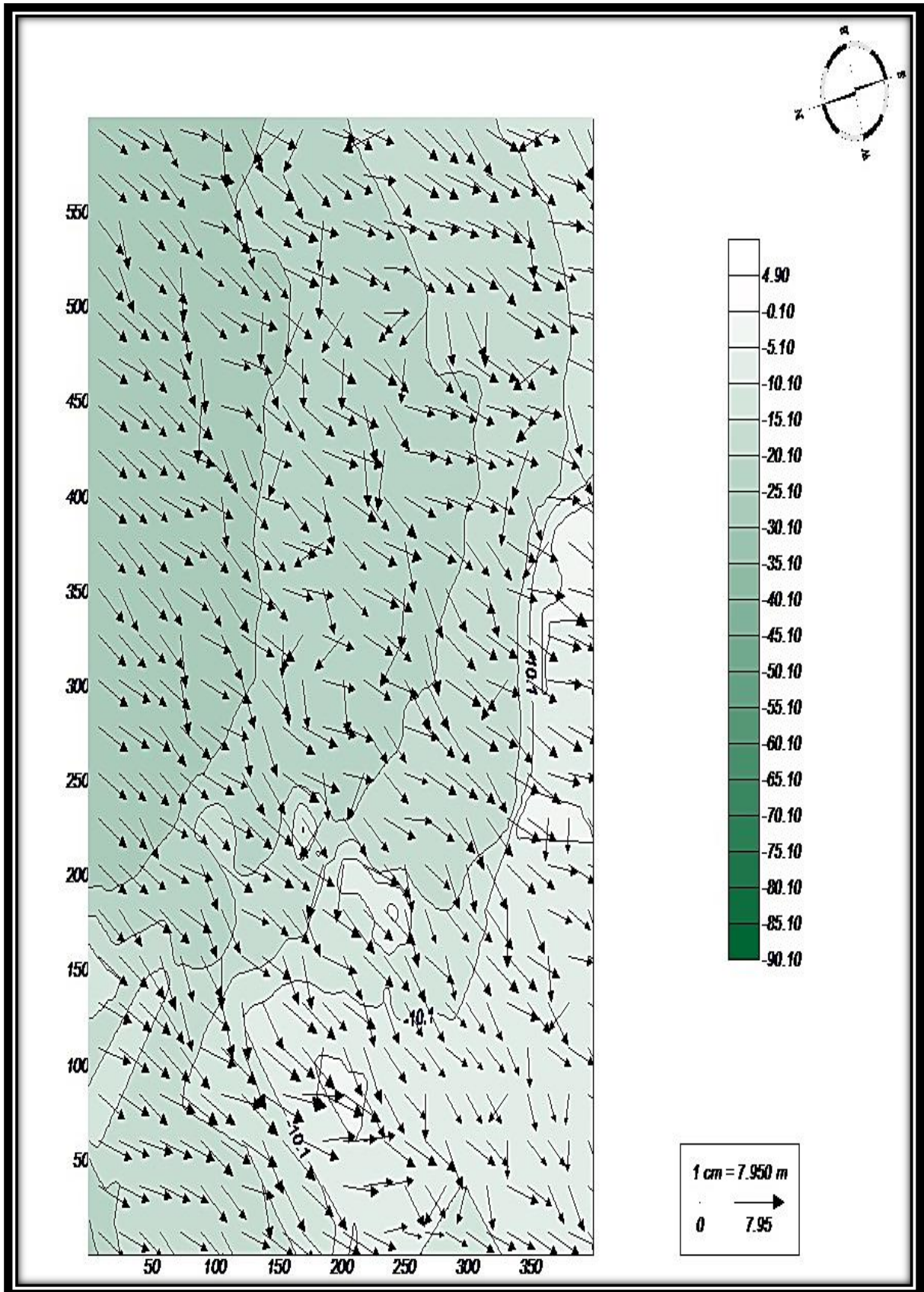


Figura 226 - Direção da onda, caso M2 - J1

ANEXO IV
PORTO DO PORTO SANTO

AI.4. CLIMA MARITIMO

AI.4.1. Regime Anual

Tabela 29 - Registos das alturas significativas e dos períodos de pico do Porto Santo

H _{M0} (m)	T _P (s)											TOTAL
	≤2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	>20	
≤0,5	-	-	-	12	21	15	-	4	-	-	-	52
1,0	-	10	70	255	265	272	137	76	17	-	-	1102
1,5	-	5	161	460	237	230	198	95	13	1	-	1400
2,0	-	-	34	516	261	180	122	68	17	2	-	1200
2,5	-	-	2	166	115	78	53	31	4	1	-	450
3,0	-	-	-	39	71	46	13	5	2	-	-	176
3,5	-	-	-	44	71	40	10	6	-	-	-	171
4,0	-	-	-	20	41	17	2	-	-	-	-	80
4,5	-	-	-	2	3	-	-	-	-	-	-	5
5,0	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
>6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
TOTAL	0	15	267	1514	1086	878	535	285	53	4	0	4637

Tabela 30 - Registos das direções das alturas significativas do Porto Santo

DIREÇÃO	H _{M0} (m)													TOTAL
	≤0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	>6,0	
N	15	463	469	367	133	22	15	1	-	-	-	-	-	1485
NNE	4	116	341	320	131	97	71	27	2	-	-	-	-	1109
NE	2	77	155	210	105	45	60	37	-	-	-	-	-	691
ENE	-	57	104	143	40	4	6	5	-	-	-	-	-	359
E	-	17	45	37	7	-	2	-	-	-	-	-	-	108
ESE	1	3	19	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	27
SE	-	-	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
SSE	-	4	9	5	1	-	4	3	-	-	-	-	-	26
S	2	4	14	8	2	2	9	5	1	1	-	-	-	48
SSW	2	33	22	17	7	1	3	2	2	-	-	-	-	89
SW	1	14	17	14	7	2	-	-	-	-	-	-	-	55
WSW	1	16	32	24	4	1	-	-	-	-	-	-	-	78
W	-	40	34	9	3	-	-	-	-	-	-	-	-	86
WNW	4	38	19	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	71
NW	8	53	36	9	4	-	-	-	-	-	-	-	-	110
NNW	12	167	74	24	4	-	-	-	-	-	-	-	-	283
TOTAL	52	1102	1400	1200	450	176	171	80	5	1	0	0	0	4637

Boia Ondógrafo do Porto Santo

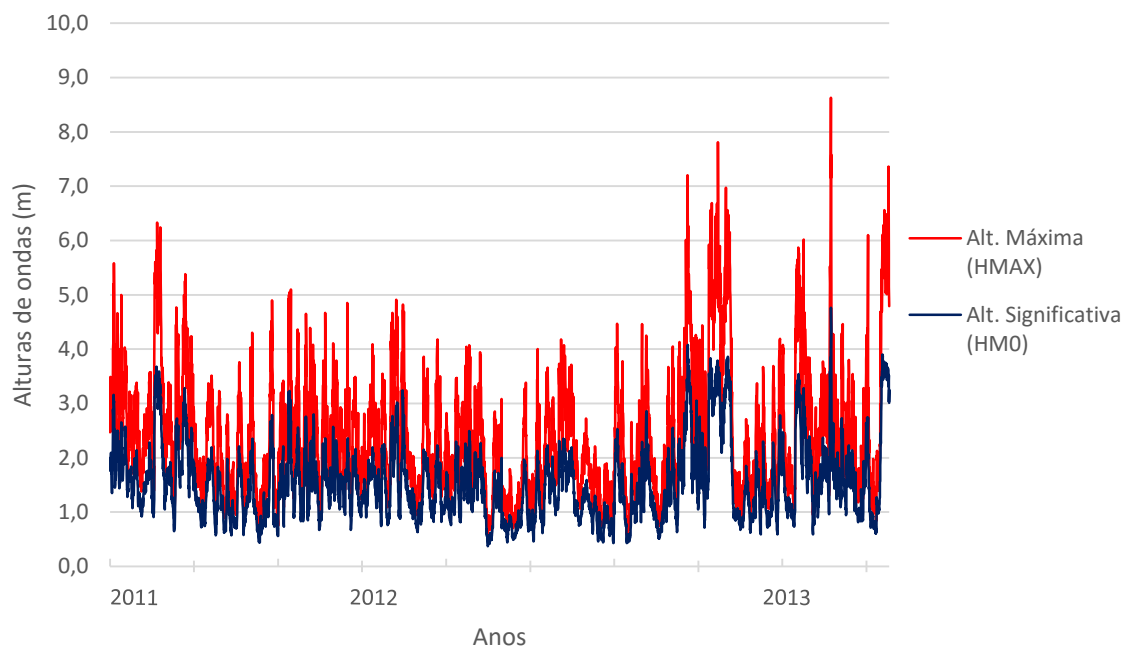


Figura 227 - Registo anual das alturas significativa e das alturas máximas do Porto Santo

Boia Ondógrafo do Porto Santo

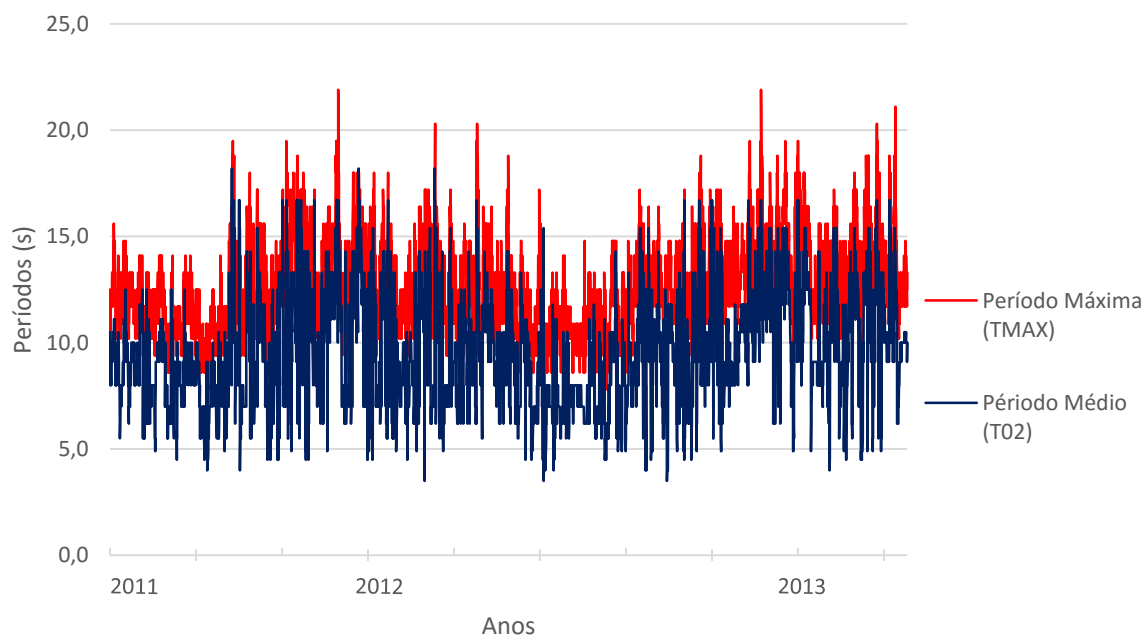


Figura 228 - Registo anual do período medio e do período máximo do Porto Santo

Boia Ondógrafo do Porto Santo

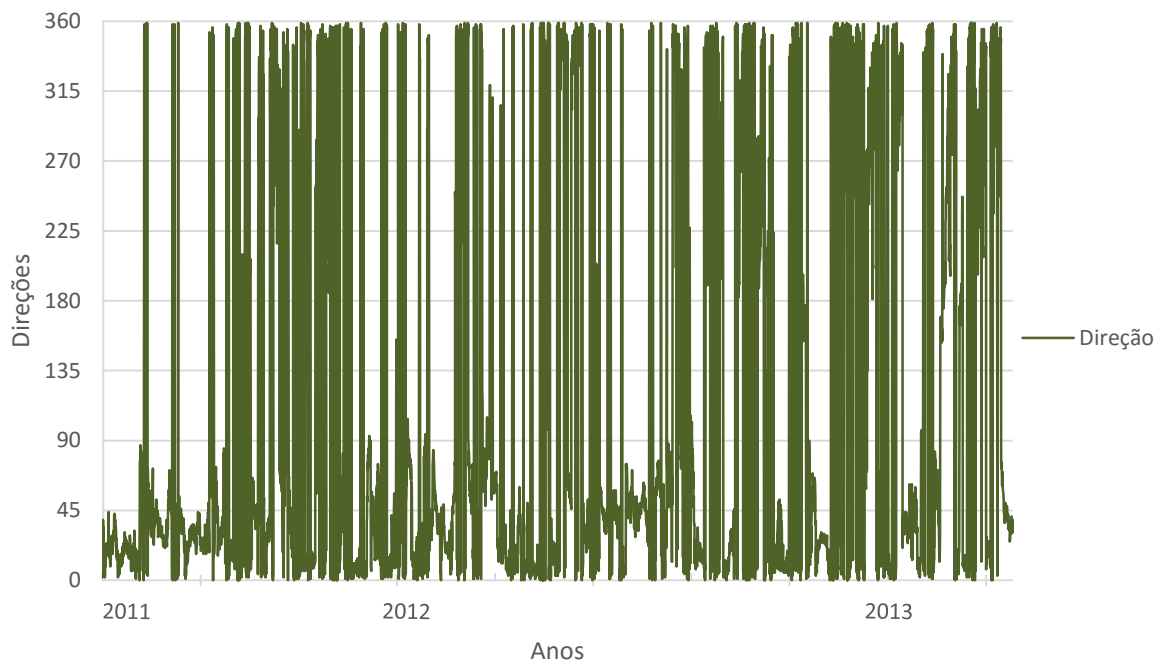


Figura 229 - Registo anual das direções de onda do Porto Santo

Frequência H_{M0}

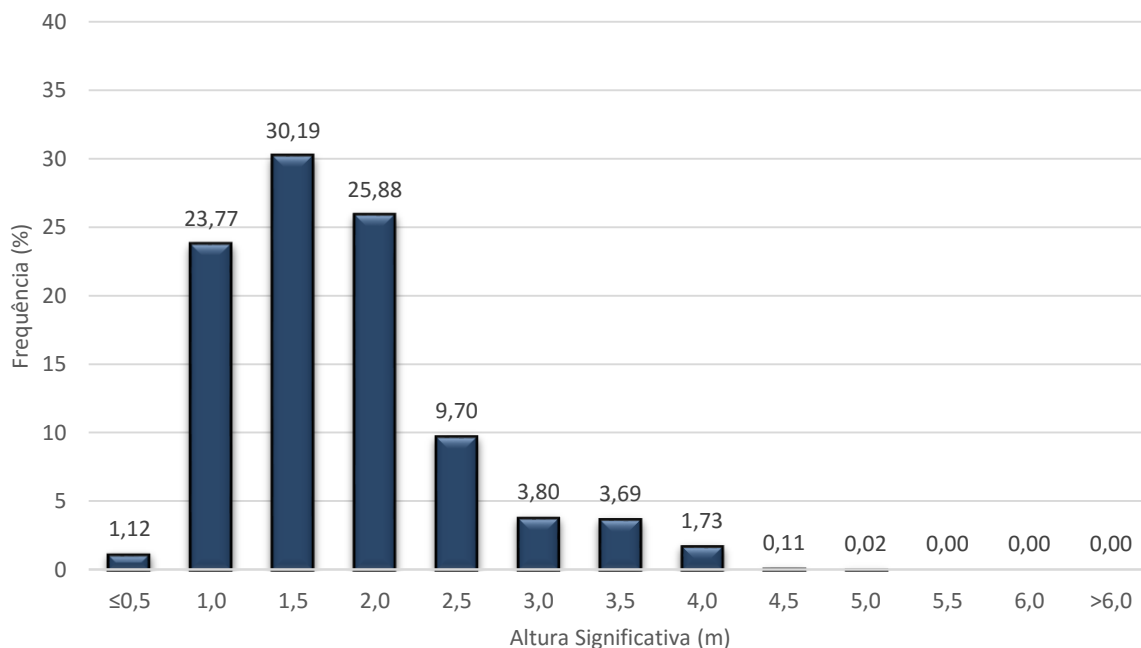


Figura 230 - Frequência da altura de onda significativa anual do Porto Santo

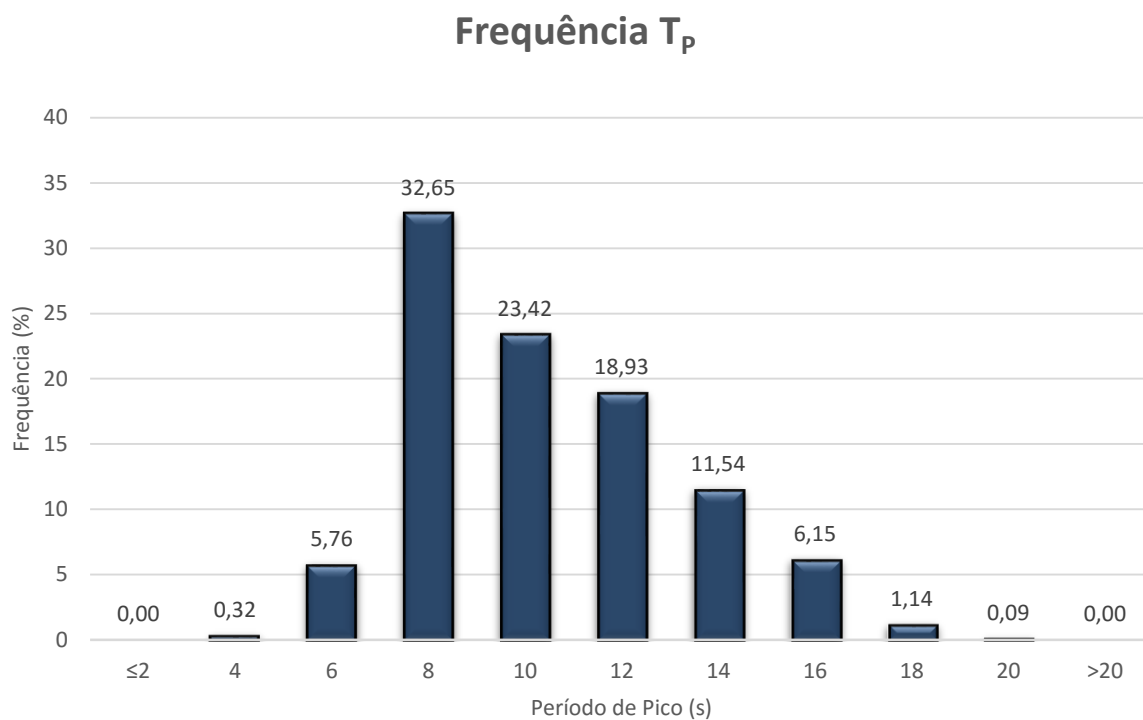


Figura 231 - Frequência do período de pico anual do Porto Santo

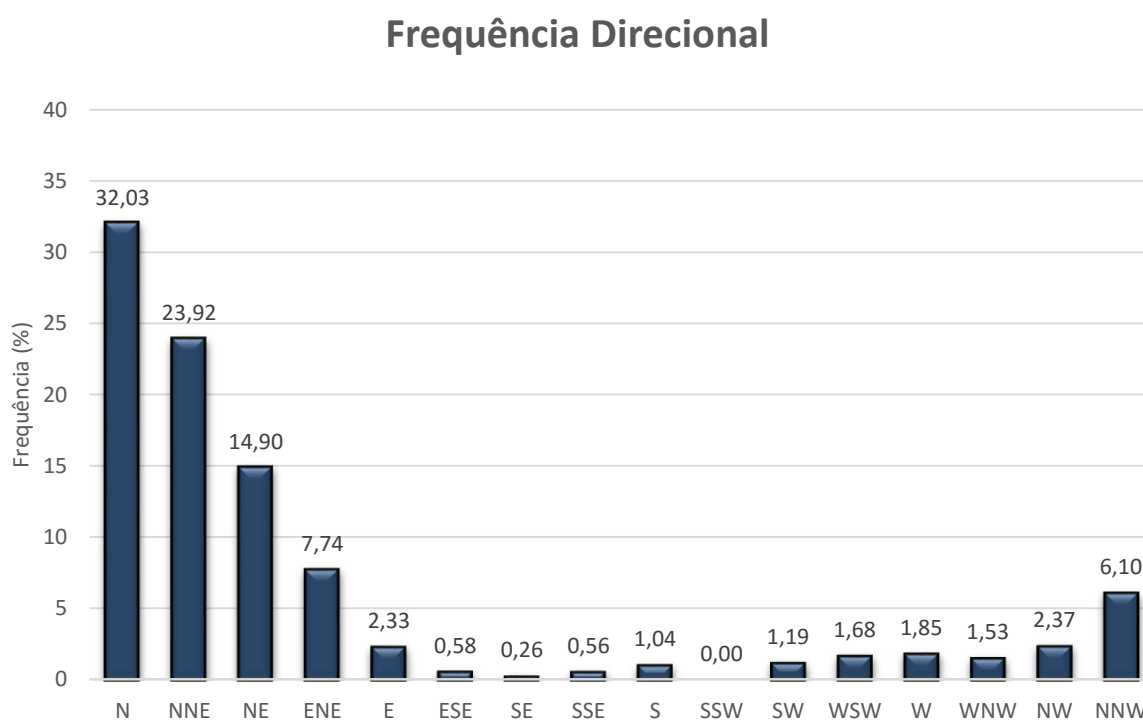


Figura 232 - Frequência direcional anual do Porto Santo

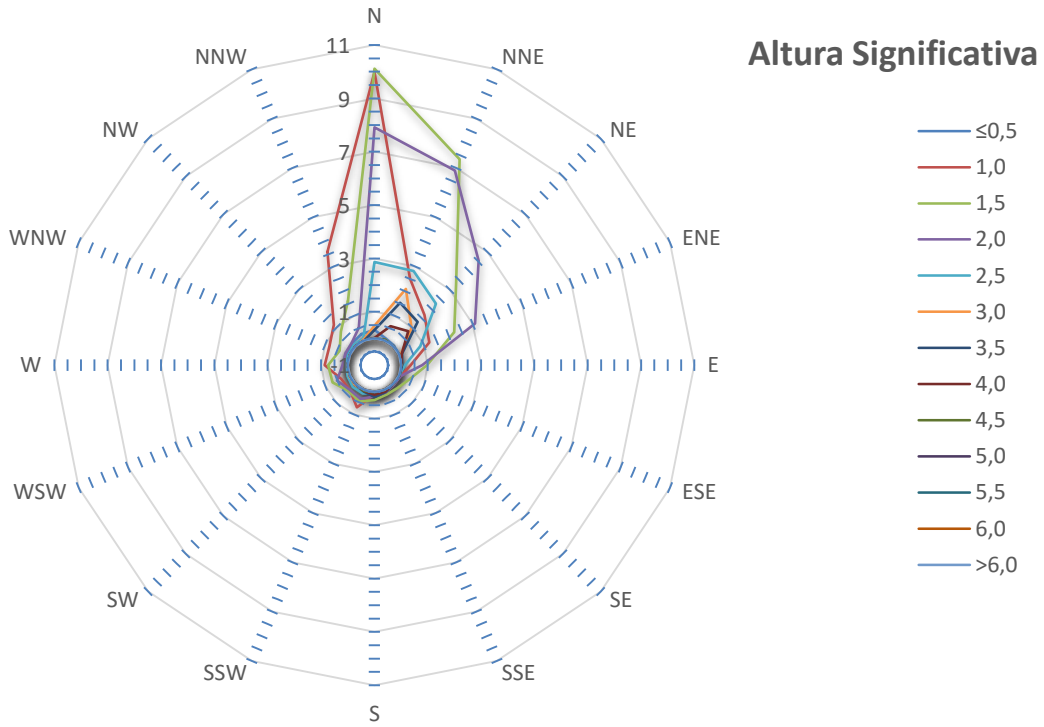


Figura 233 - Direção da altura de onda significativa anual do Porto Santo

Al.4.2. Regime Estacional

Al.4.2.1. primavera

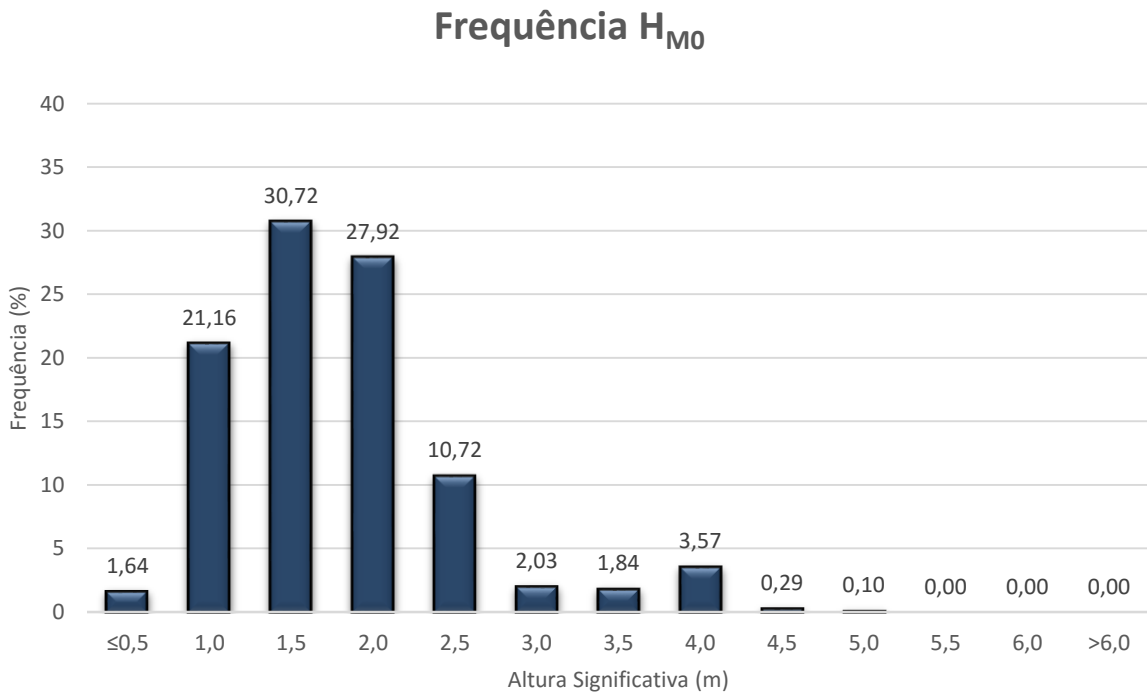


Figura 234 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (primavera)

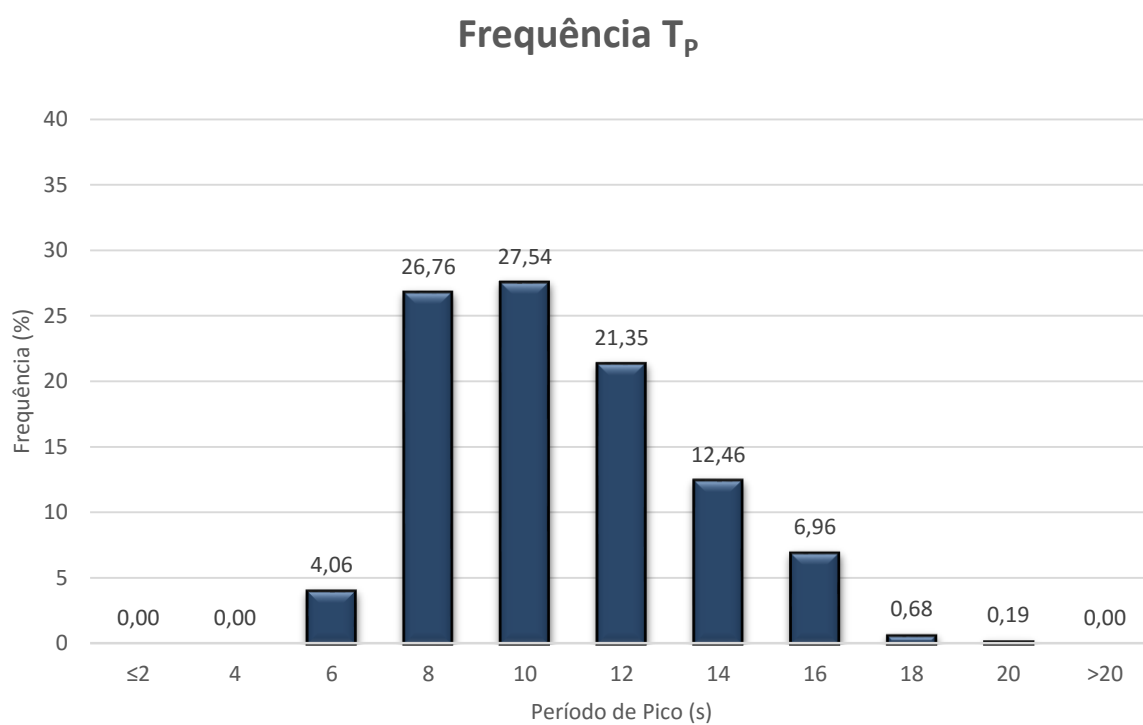


Figura 235 - Frequência do período de pico estacional do Porto Santo (primavera)

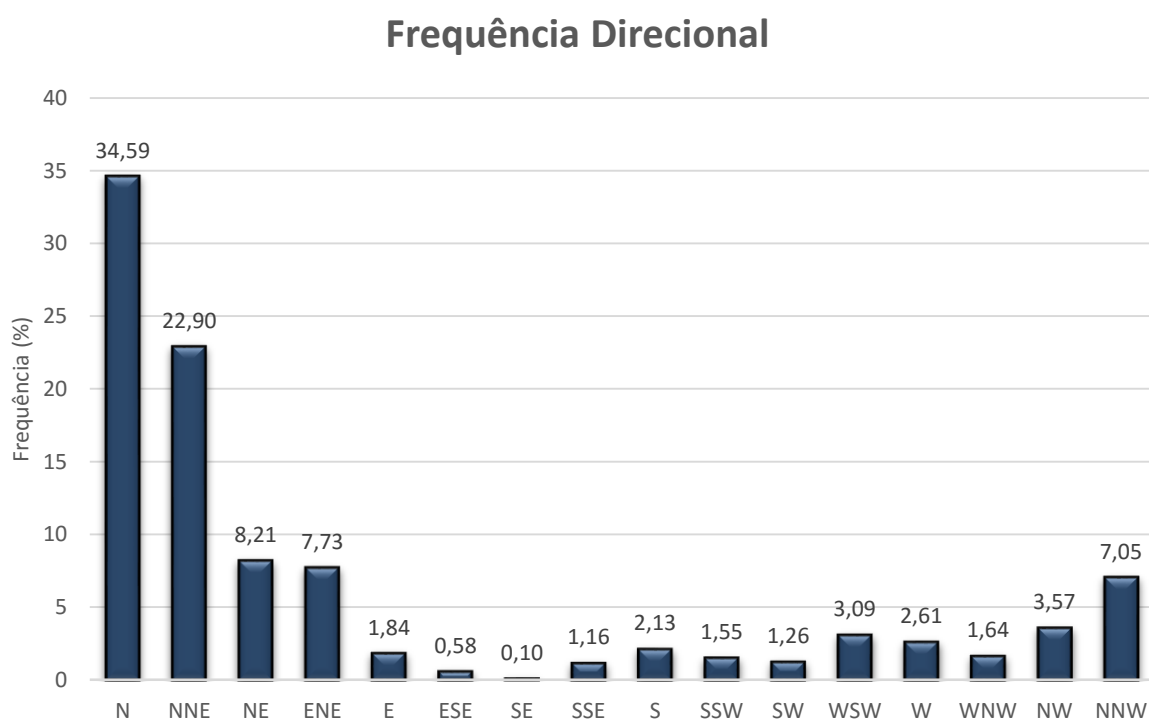


Figura 236 - Frequência direcional estacional do Porto Santo (primavera)

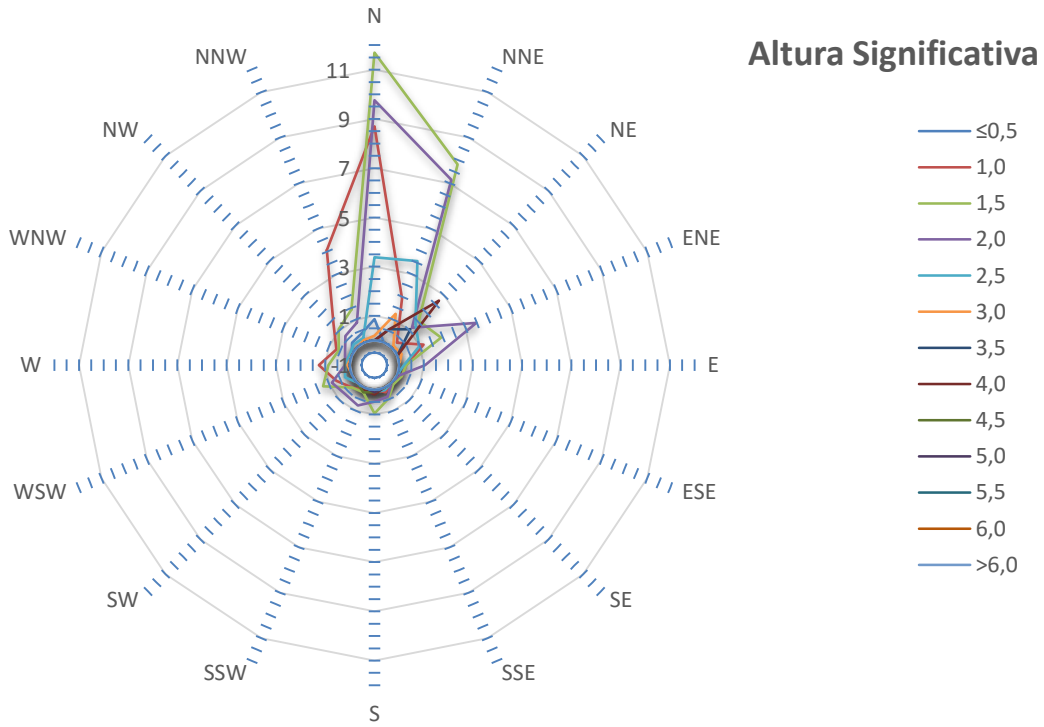


Figura 237 - Direção da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (primavera)

Al.4.2.2. verão

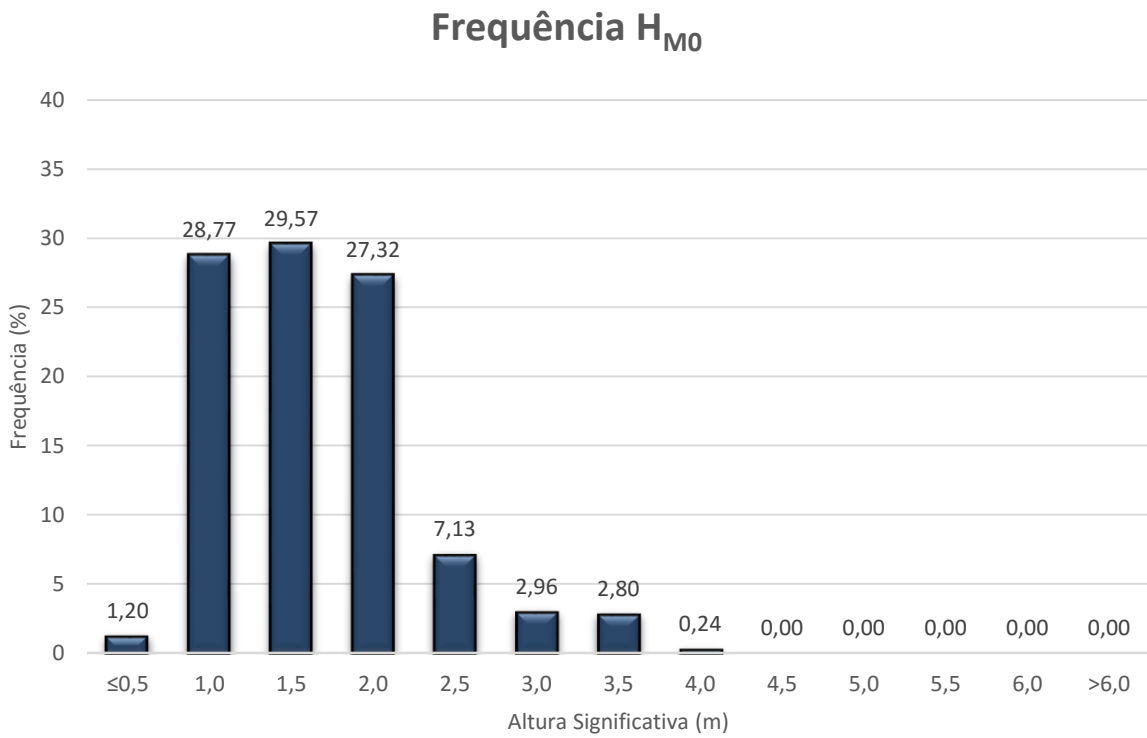


Figura 238 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (verão)

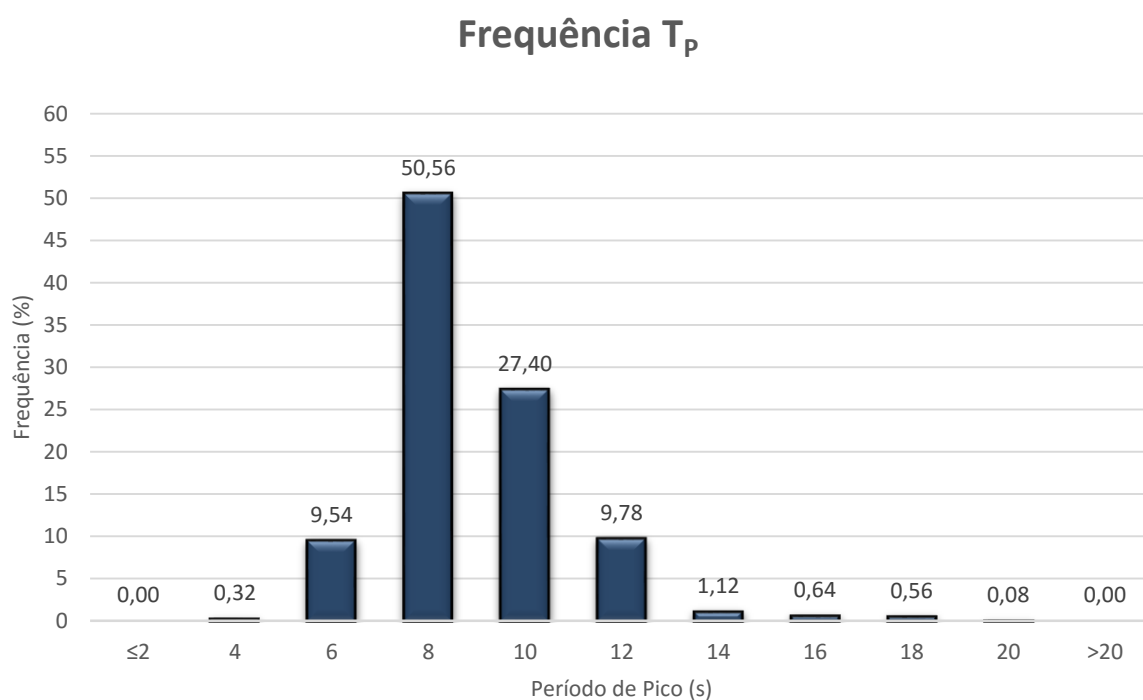


Figura 239 - Frequência do período de pico estacional do Porto Santo (verão)

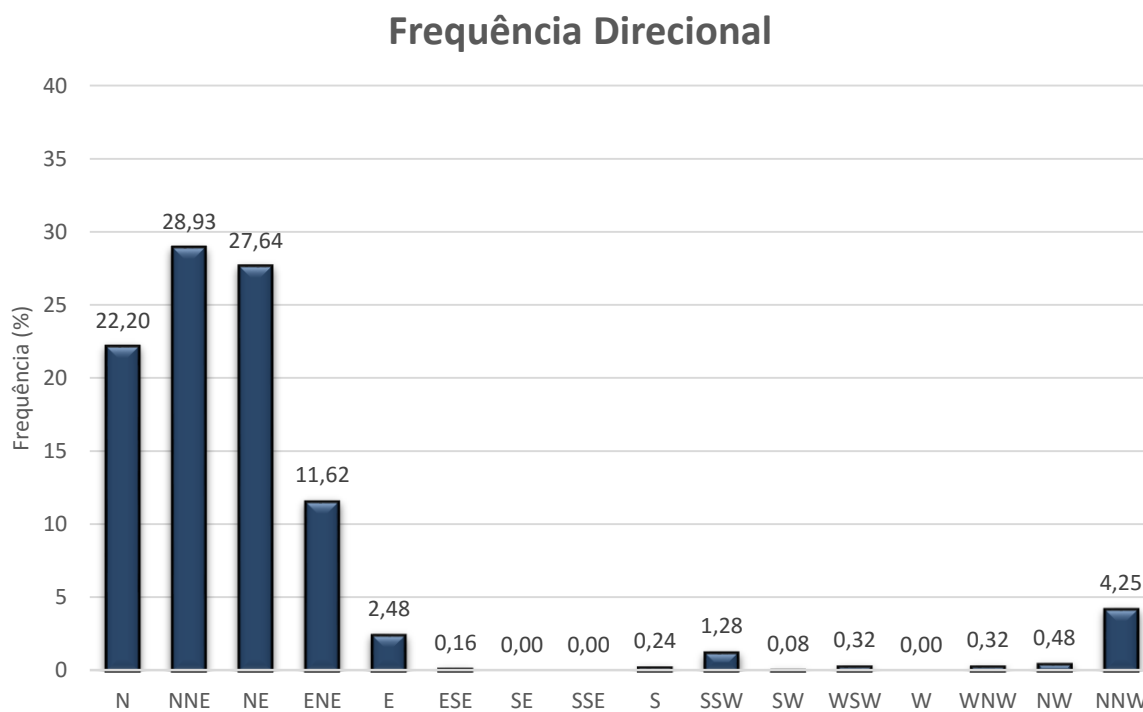


Figura 240 - Frequência direcional estacional do Porto Santo (verão)

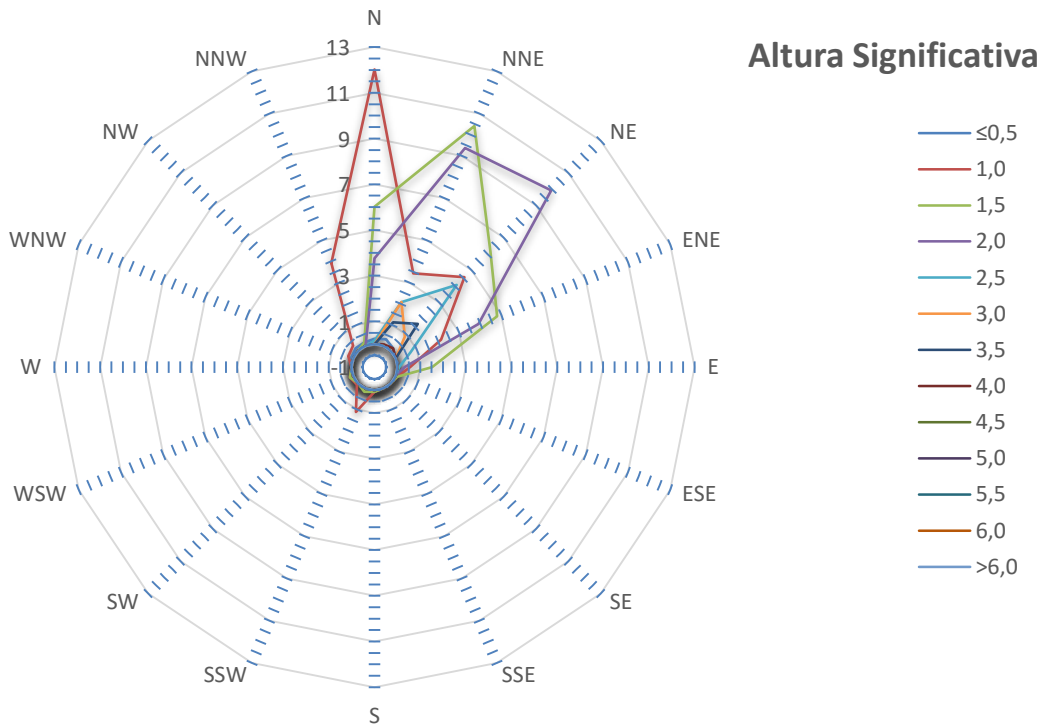


Figura 241 - Direção da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (verão)

Al.4.2.3. outono

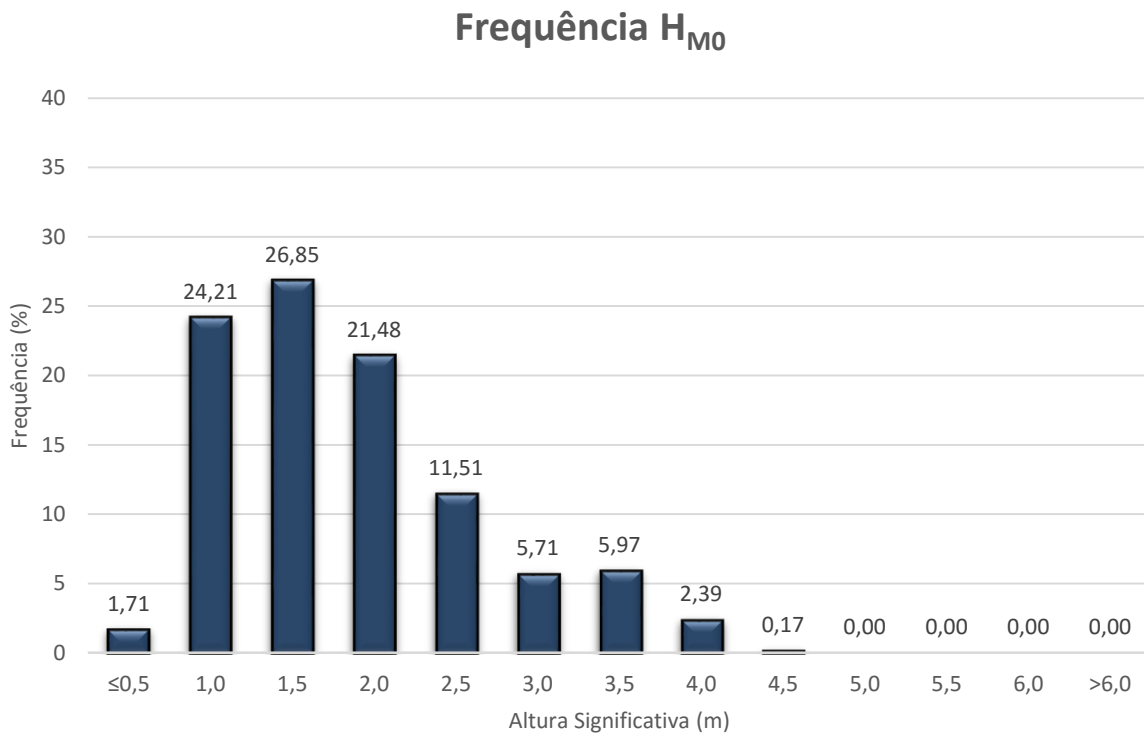


Figura 242 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (outono)

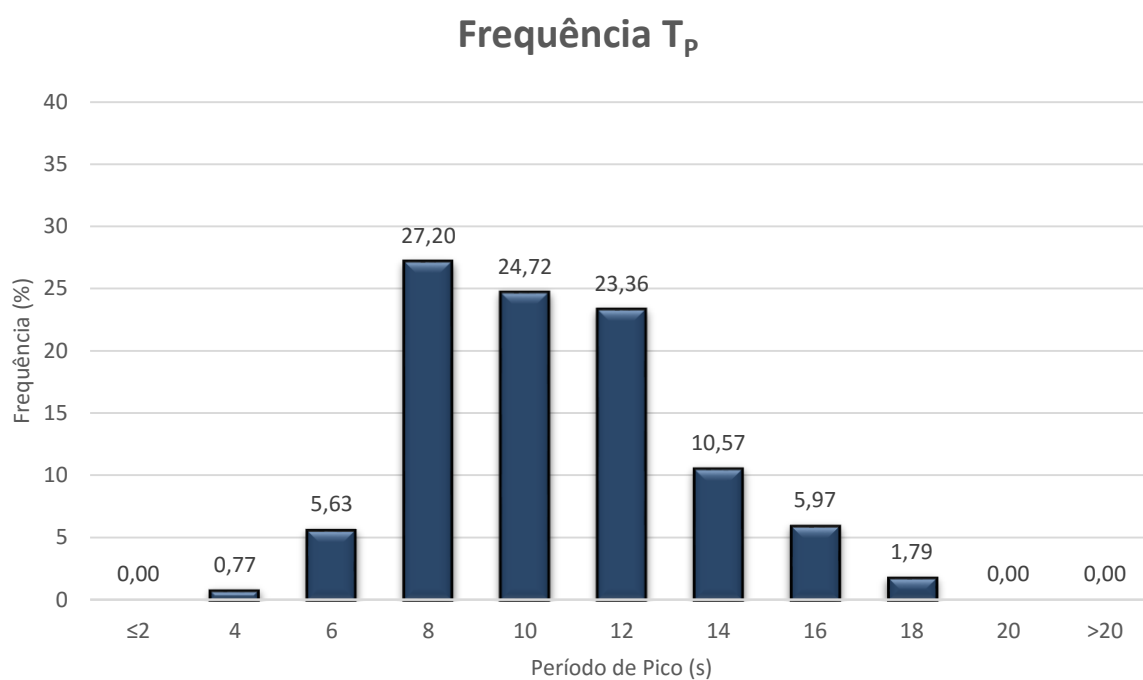


Figura 243 - Frequência do período de pico estacional do Porto Santo (outono)

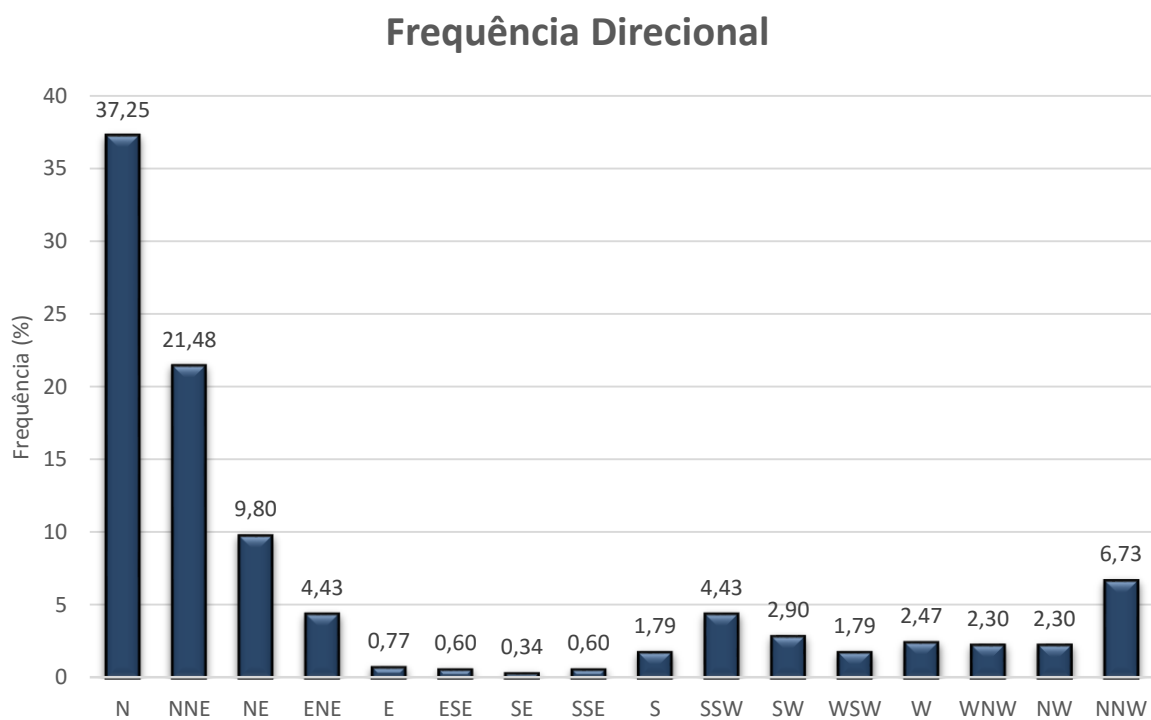


Figura 244 - Frequência direcional estacional do Porto Santo (outono)

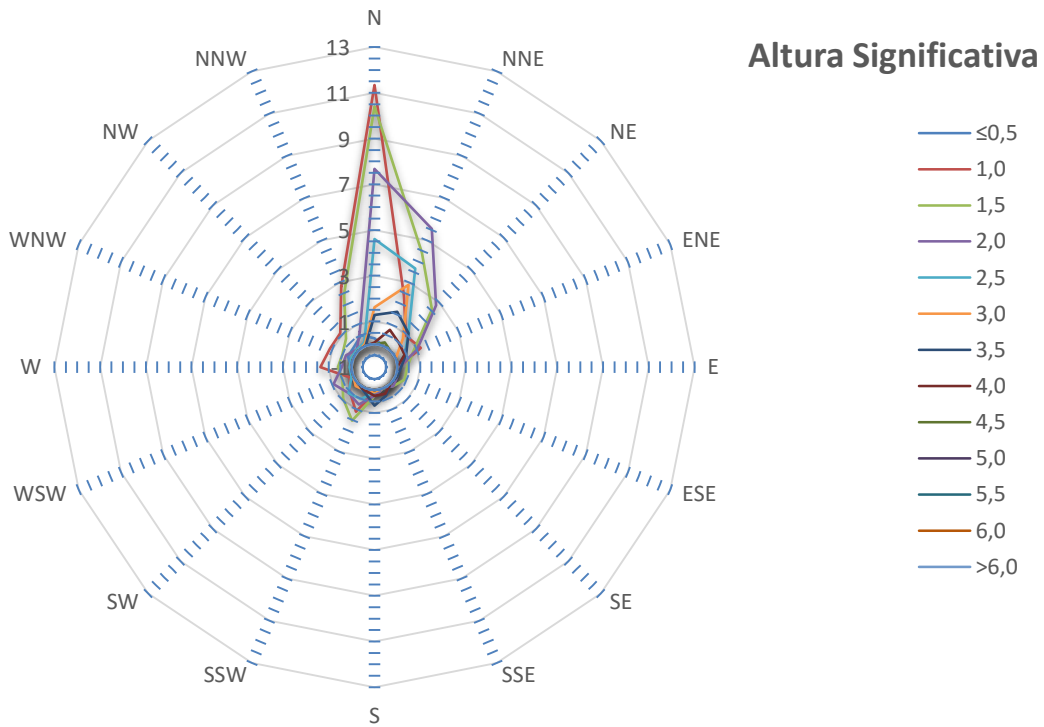


Figura 245 - Direção da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (outono)

Al.4.2.4. inverno

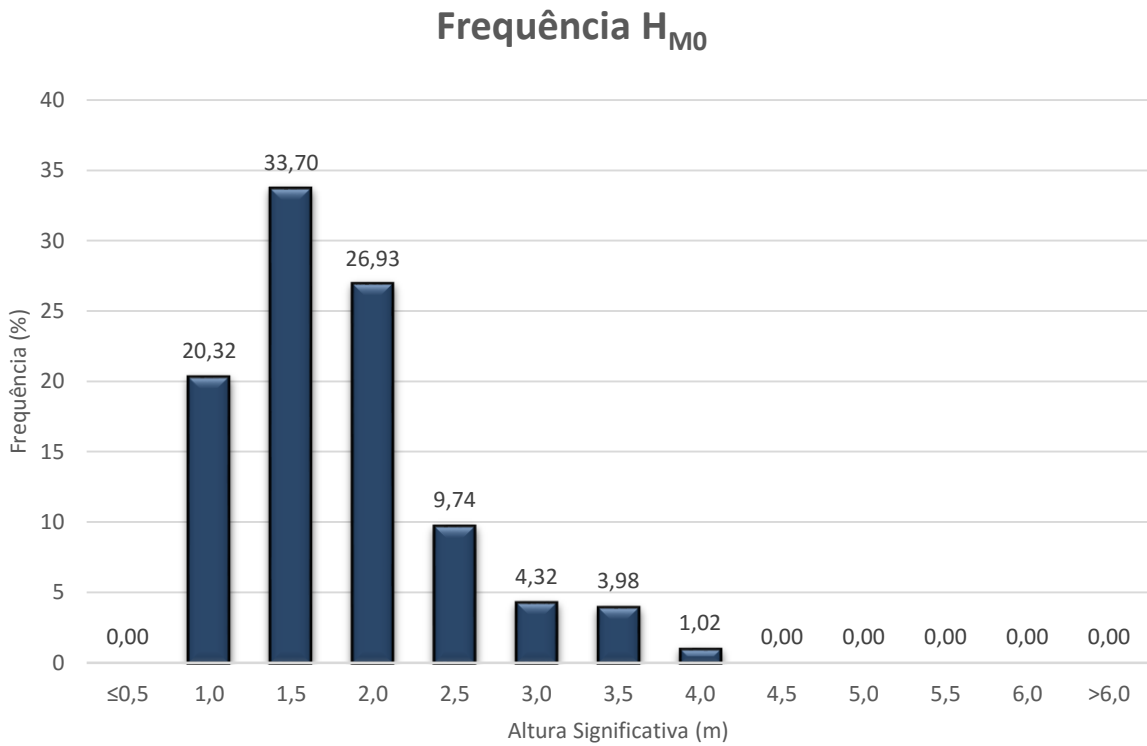


Figura 246 - Frequência da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (inverno)

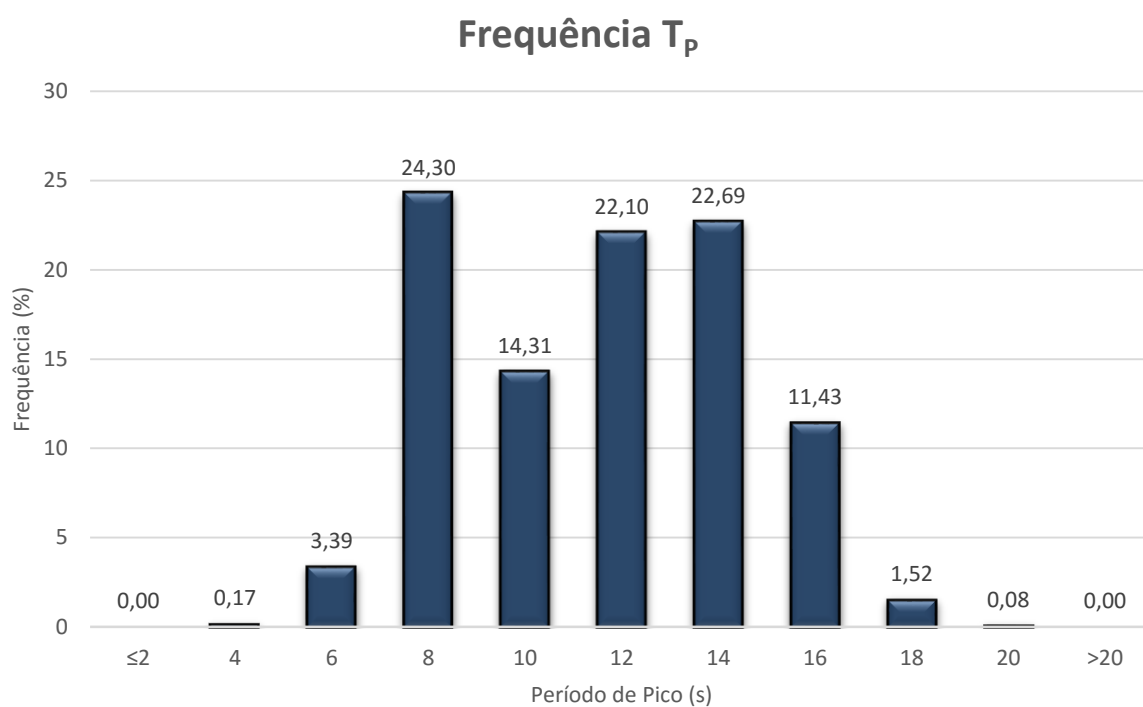


Figura 247 - Frequência do período de pico estacional do Porto Santo (inverno)

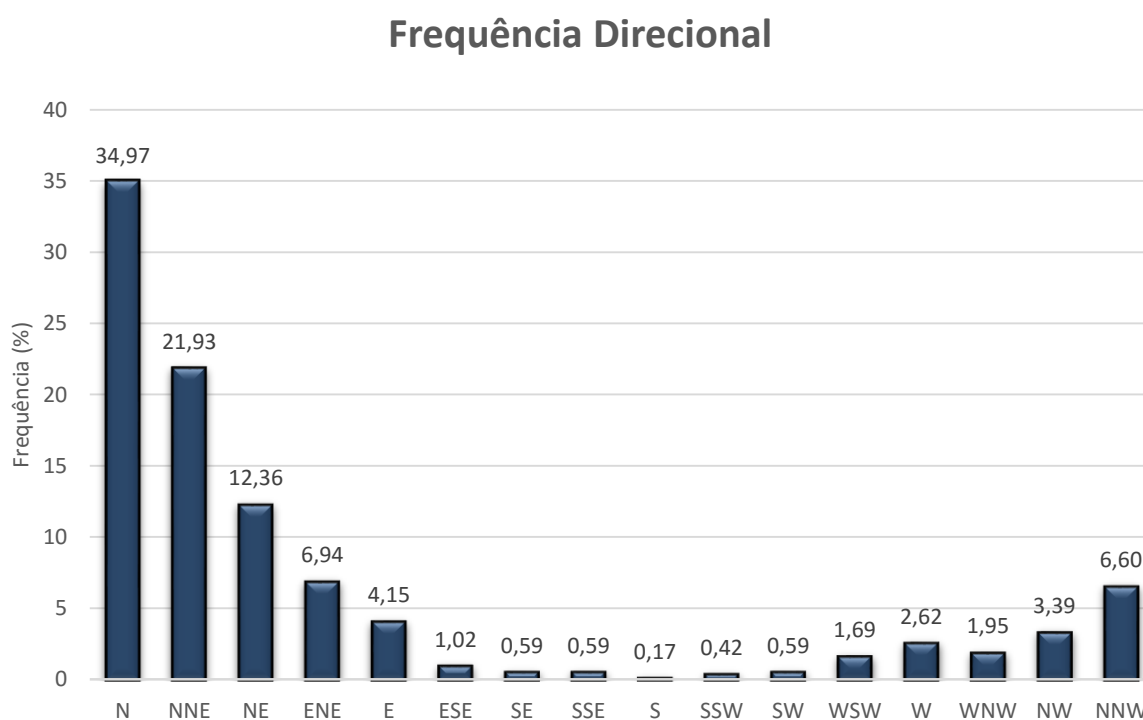


Figura 248 - Frequência direcional estacional do Porto Santo (inverno)

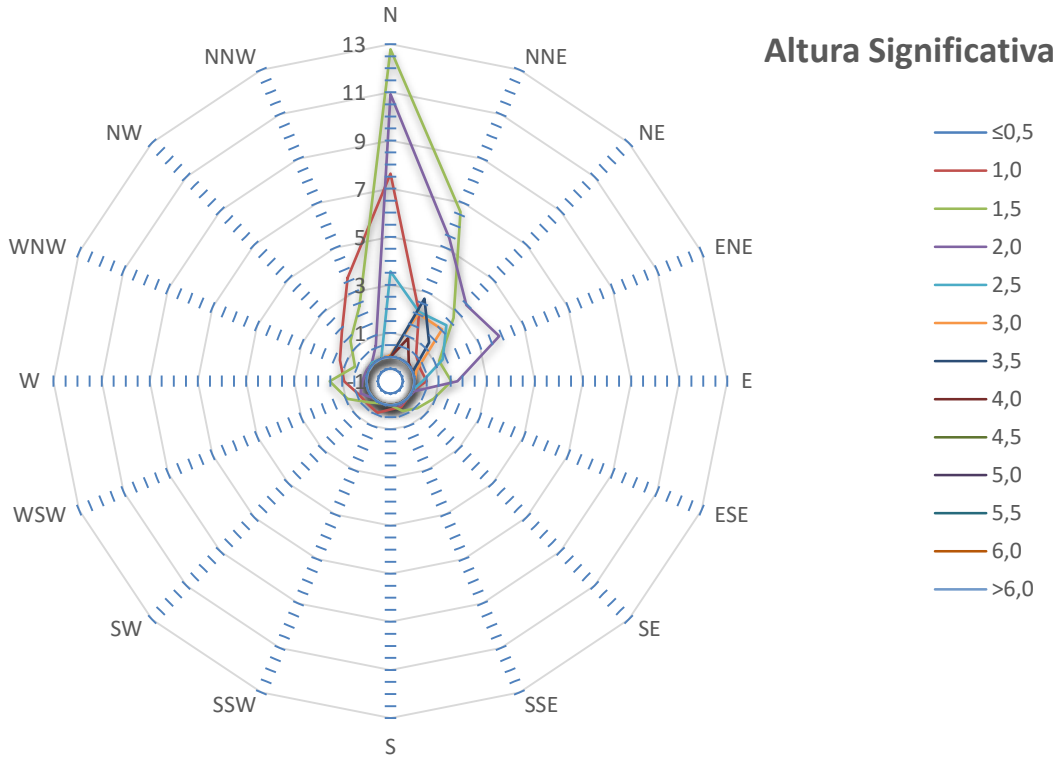


Figura 249 - Direção da altura de onda significativa estacional do Porto Santo (inverno)

Leis Probabilísticas

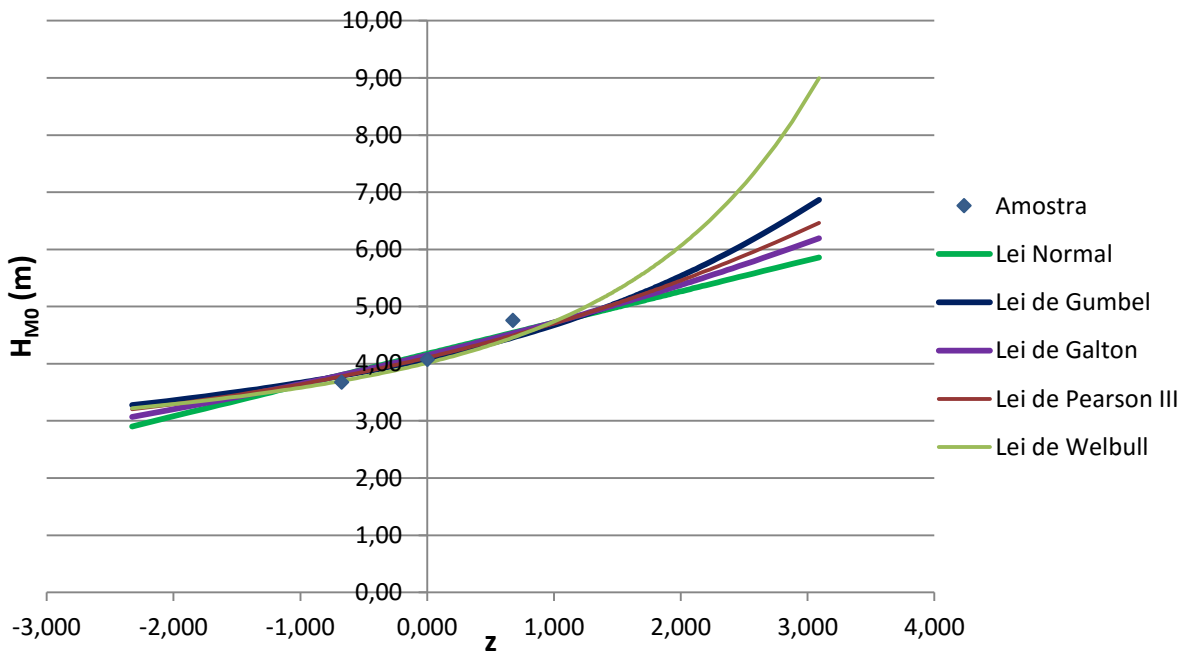


Figura 250 - Leis Probabilísticas

AI.4.3. Carol

AI.4.3.1. Descrição de dados

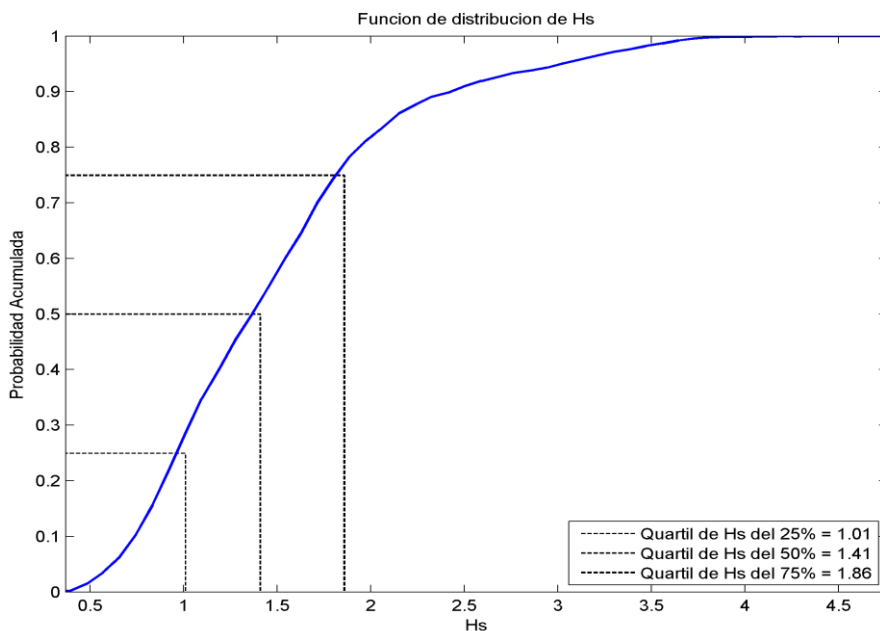


Figura 251 - Função de distribuição da altura significativa do Porto Santo

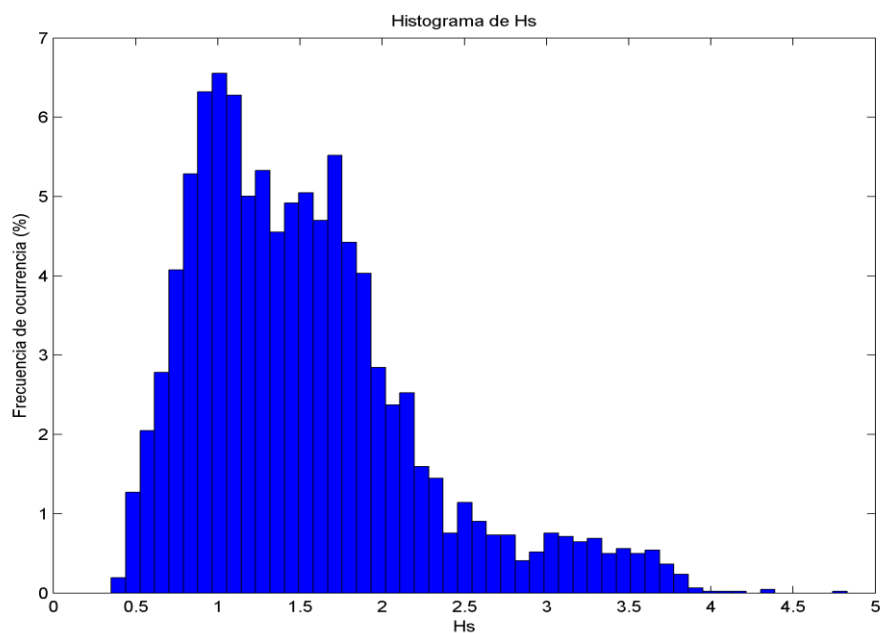


Figura 252 - Histograma das alturas significativas do Porto Santo

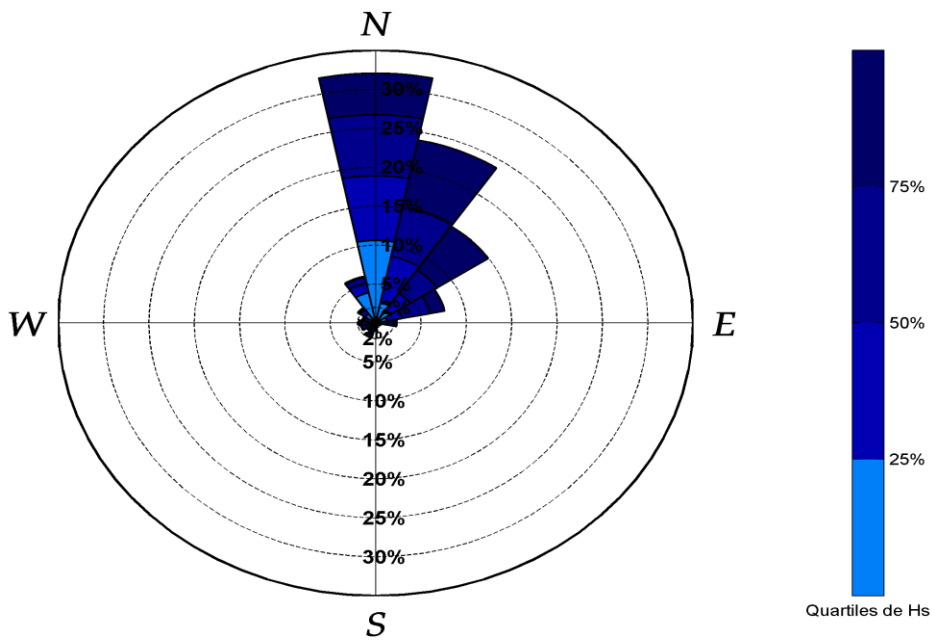


Figura 253 - Rosa dos Ventos distribuição da altura significativa do Porto Santo

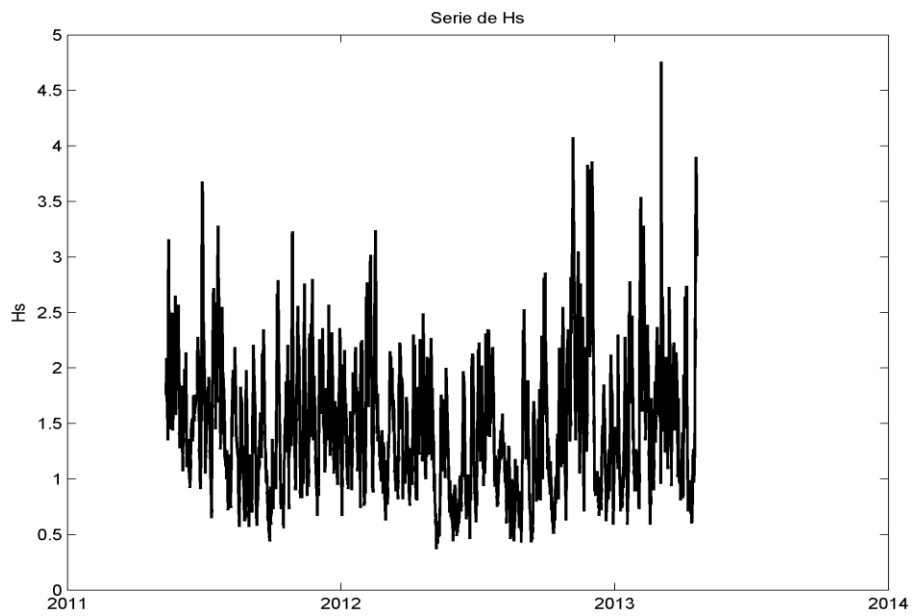


Figura 254 - Serie temporal da altura significativa do Porto Santo

Al.4.3.2. Regime Médio

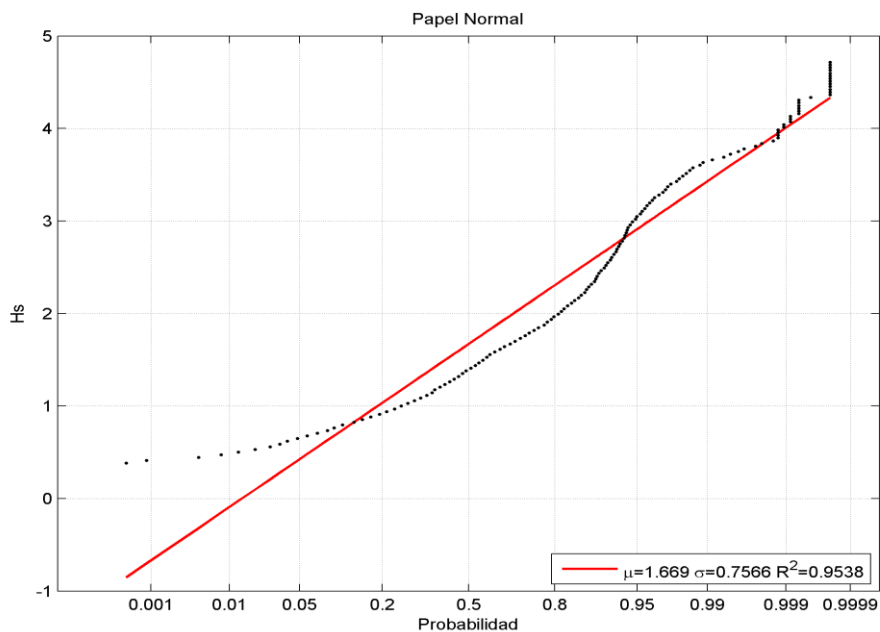


Figura 255 - Distribuição Normal do Porto Santo

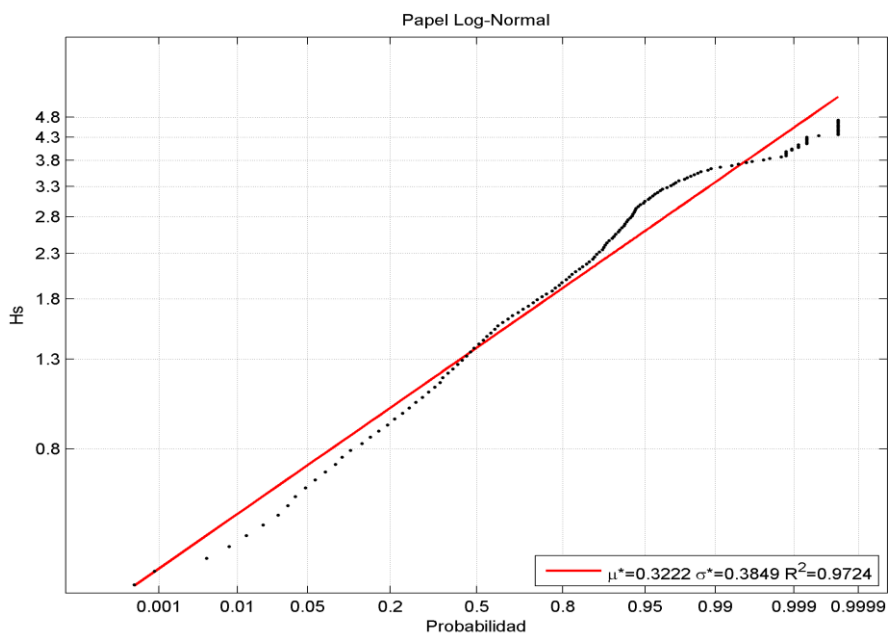


Figura 256 - Distribuição Log-Normal do Porto Santo

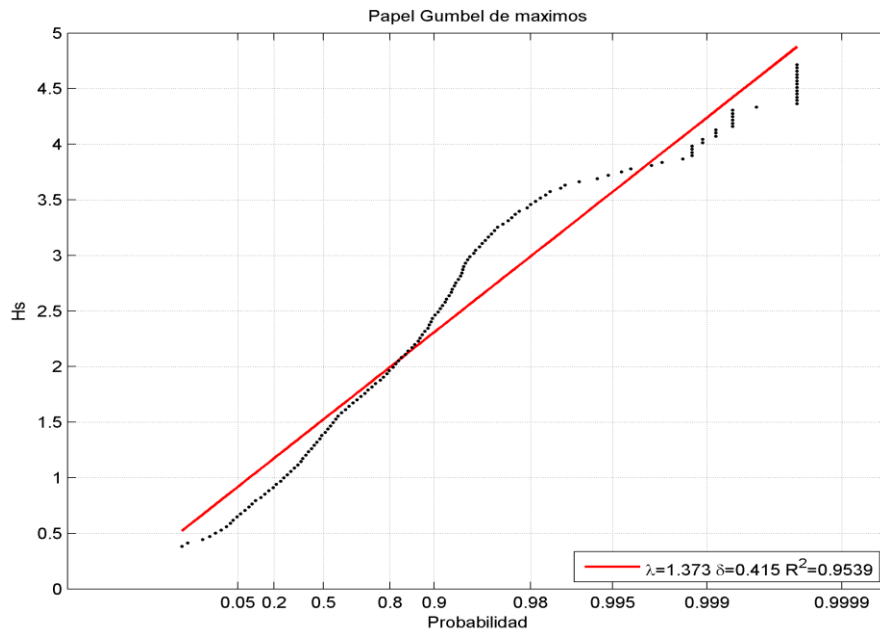


Figura 257 - Distribuição de Gumbel do Porto Santo

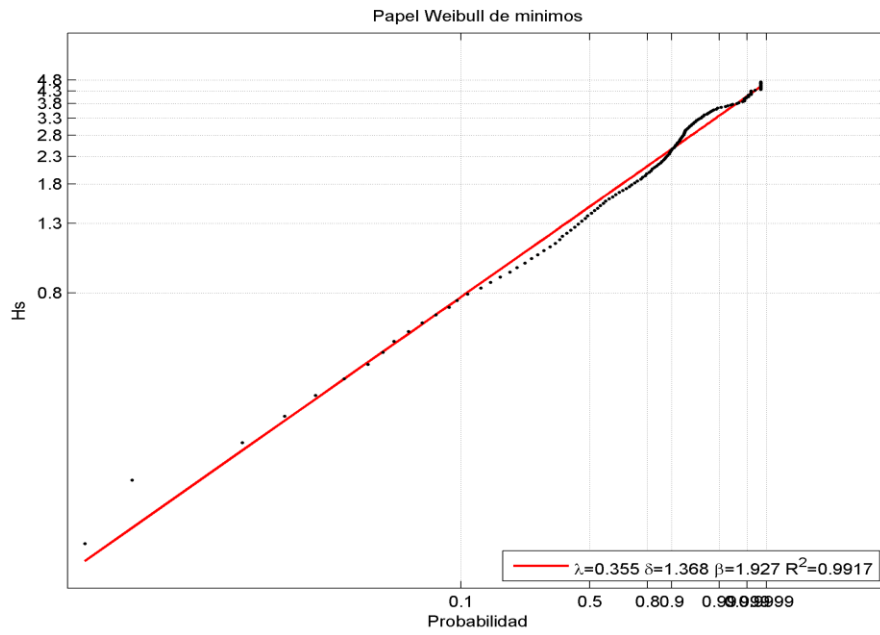


Figura 258 - Distribuição de Weibull do Porto Santo

Al.4.3.3. Regime de Extremos

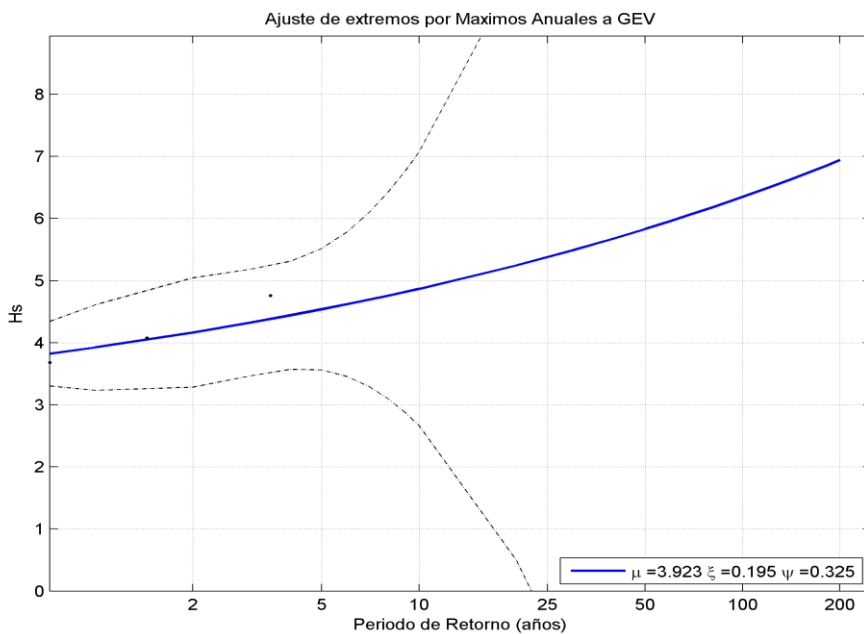


Figura 259 - GEV do Porto Santo

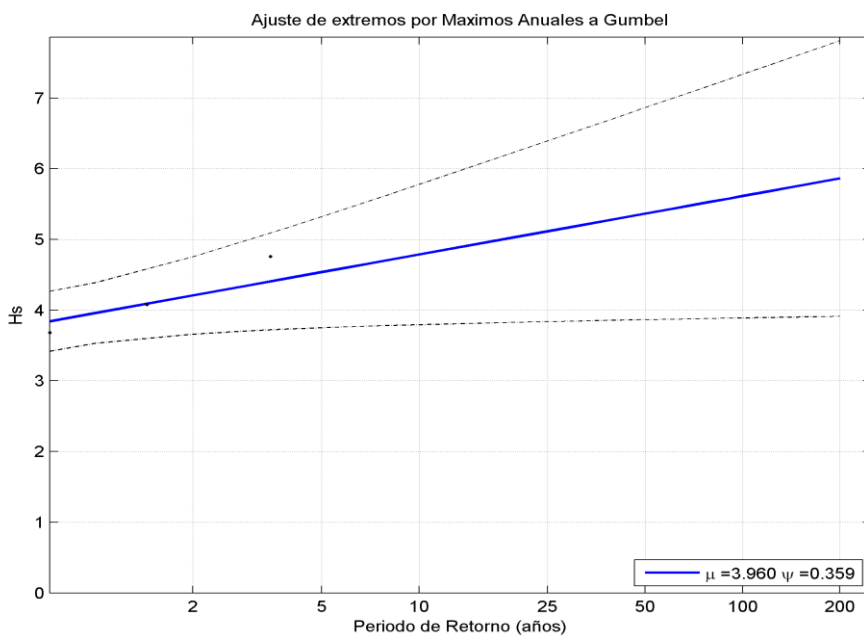


Figura 260 - Gumbel máximos anuais do Porto Santo

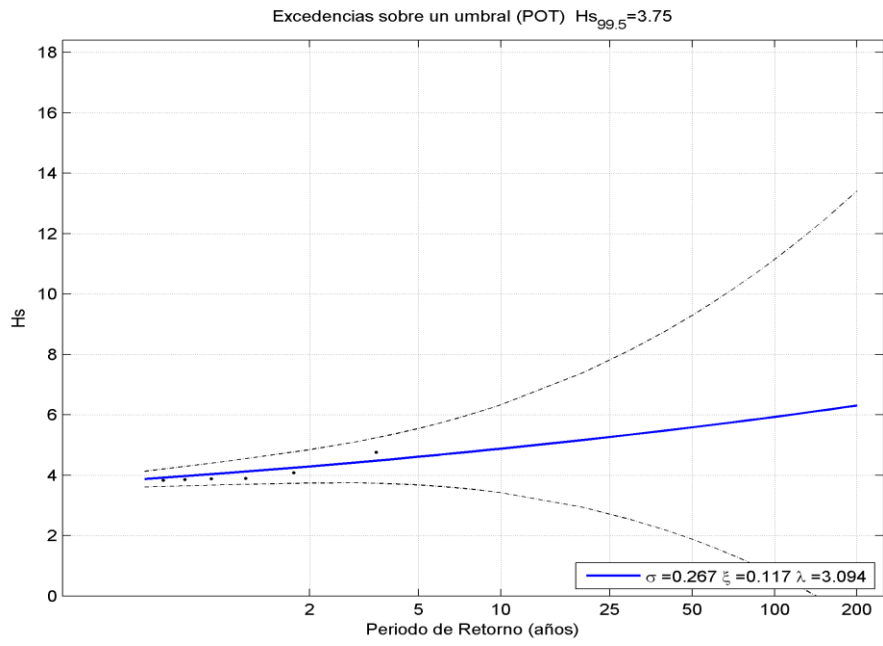


Figura 261 - POT do Porto Santo