



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

Departamento de Engenharia Civil

Trabalho de Licenciatura

**CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA
AO LARGO DA BAÍA DE MAPUTO**

Cláudia Brunilde Guiloviça

Supervisores: Eng^o Jaime Palalane (U.E.M.)

Eng^o Tiago Oliveira (U.P.C.)

Maputo, Julho de 2011



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

Departamento de Engenharia Civil

CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA AO LARGO DA BAÍA DE MAPUTO

Cláudia Brunilde Guiloviça

Trabalho de Licenciatura Realizado numa Cooperação entre:



**Universidade
Eduardo
Mondlane**



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

Com a Colaboração de:



**Col·legi d'Enginyers de Camins,
Canals i Ports - Catalunya**



**Centre de Cooperació per
al Desenvolupament. CCD**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Maputo, Julho de 2011

Declaração de Honra

Eu, Cláudia Brunilde Guiloviça, declaro por minha honra, que a tese intitulada Caracterização da Agitação Marítima ao Largo da Baía de Maputo, que apresento para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciada em Engenharia Civil, é resultado da minha investigação pessoal e independente, orientada pelos mestres Jaime Palalane e Tiago Oliveira. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto e nas referências bibliográficas.

Maputo, Julho de 2011

A autora,

(Cláudia Brunilde Guiloviça)

Tu que foste o meu maior companheiro.

Tu que mesmo sendo tão pequeno, foste tão sábio, cuidaste de mim:

*Nos momentos de stress, davas os teus chutinhos que me lembravam que também tinha
que me dar uma folga, me tranquilizavam e soavam como um: “Mamy, não te preocupes,
estou aqui!”;*

*Nos momentos de desânimo eras a minha fonte de energia e fazias-me arranjar forças
inimagináveis para continuar.*

*Tu que és o meu pequeno, meu amigo, meu companheiro...a maior benção que Deus pôde
dar-me.*

A ti, devo toda a inspiração que tive para a realização deste trabalho.

É imensurável o amor que tenho por ti.

*Que este trabalho sirva de exemplo e motivo de orgulho para ti, meu Diego Marcel, e
para os meus pequenos: Miguel Ângelo, Daniel, Yanni Gabriel, Nisabela, Rafael e os
que estão a caminho!*

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado de uma caminhada que não começou na UEM e, como ninguém caminha só, sinto necessidade de demonstrar a minha gratidão por todos os que me auxiliaram, criticaram, ou contribuíram de alguma outra forma para a construção de quem eu sou hoje.

Agradeço, particularmente, aos que me incentivaram ao longo do curso e contribuíram na execução deste trabalho, nomeadamente:

- A Deus, pelas imensas oportunidades que me proporcionou ao longo deste caminho e, por me ter iluminado nas escolhas que fiz;
- À minha família, em especial aos meus pais, irmãos e cunhados pela confiança que sempre depositaram em mim ao darem-me a liberdade de fazer as minhas escolhas, e pelo amor que têm por mim, demonstrado com a compreensão, os elogios e as críticas que me incentivaram a melhorar;
- À FE-UEM, em especial ao: Engº. Jaime Palalane que foi um supervisor muitíssimo atencioso, procurando estar sempre presente para o acompanhamento desta tese; Dr. Pedro Sing-Sang, Dr. Carlos Quadros e Engº. Saturnino Chembeze, pelas oportunidades que me deram de poder estar mais próxima do saber;
- Ao Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports - Catalunya e ao Centre de Cooperació per el Desenvolupament da UPC que tornaram possível a minha ida à Barcelona, a fim de fazer investigações para o presente trabalho;
- Ao LIM-UPC que foi muito acolhedor durante a minha estadia para as investigações, em especial ao: Engº. Tiago Oliveira e Dr. Manel Grifoll que foram supervisores muitíssimo presentes, atenciosos e pacientes, procurando incentivar-me para a execução de um excelente trabalho, através de transmissão de conhecimentos e da apreciação altamente crítica; Dr. Jesús Gómez que me auxiliou na análise do clima extremo e procurou transmitir a sua vasta experiência nesta área e, Dr. Manuel Espiño pelo acompanhamento que fez deste trabalho;

- Aos meus colegas de curso, pela demonstração de amizade e solidariedade através da troca de informação e material, em especial à: Ilídio Tajú, José Manane, Mauro Carimo, Tânia Veterano, Sidney Abreu, Sumeia Momade e Yara Champier, que foram os companheiros de batalha;
- Aos meus amigos, os que suportaram por muitas vezes a minha ausência, muito me criticaram, mas sempre foram compreensivos e me incentivaram a seguir este caminho, especialmente: Celso Moreira, Frederico Chilengue, Jéssica Lage, Lutea Magaia, Nelma Abdulahé, Patrícia Cruz e Tasmiya Irá; e, os que não mediram esforços para que eu me sentisse “em casa, fora de casa”: Arnel German, Celina Maragoto, Eva Bosom, Gemma González, Lina Tyroller, Lucia Pérez, Marcela Bernardi, Marta Alomar, Mercè Casas, Pedro Cabeleira e Tacilta Nhampossa.
- A todos os coordenadores e funcionários das diversas instituições que me auxiliaram nas burocracias e facilitaram a aquisição de informações úteis para a realização deste trabalho, especialmente: INAHINA, INAMAR, MPDC, UEM e UPC.

RESUMO

Título: Caracterização da agitação marítima ao largo da baía de Maputo

Autora: Cláudia Brunilde Guiloviça

Supervisores: Jaime Palalane / Tiago Oliveira

A Baía de Maputo assume um papel importante para a economia da região e de Moçambique devido às intensas actividades portuárias, lúdico-turísticas e comerciais, nela, praticadas. Sendo assim, é extremamente importante conhecer o clima de agitação da região para um melhor dimensionamento e manutenção, tanto das estruturas marítimas novas, como das já existentes.

Dada a importância do tema, neste trabalho faz-se a caracterização da agitação marítima ao largo da Baía de Maputo, usando dados provenientes do modelo numérico *NOAA Wave Watch III (NWW3)* para um ponto da região e, utilizando formulações do estado de arte.

Para a análise do clima médio utilizou-se o programa *Matlab*, verificando-se a existência de uma estação mais energética, de Abril à Setembro, em que predominam ondas do Sul-Sudoeste e Sudoeste e, outra menos energética, de Outubro à Março, com ondas de Este-Sudeste, Sul-Sudoeste e Sudoeste.

Na análise do clima extremo, a selecção dos temporais máximos independentes teve em conta, essencialmente, a altura significativa limite e o intervalo mínimo entre os temporais escolhidos. Para a extrapolação dos dados existentes, usaram-se as funções de distribuição de probabilidades (FDP's) de: Gumbel, Frechet e Weibull ; e os métodos de ajuste de: momentos, máxima verossimilhança e mínimos quadrados. Tendo-se constatado, que tal como foi abordado na revisão do estado de arte, que as funções de Weibull e de Gumbel apresentam melhores ajustes.

Palavras - Chave: Baía de Maputo. Modelo *NWW3*. Agitação Marítima. Clima Extremo.

ABSTRACT

Title: Wave Climate Characterization at Offshore of Maputo Bay

Author: Cláudia Brunilde Guiloviça

Tutors: Jaime Palalane / Tiago Oliveira

The Maputo Bay plays an important role not only for the region's economy but also for the whole country due to its intense port activities, tourism and recreational and commercial practice. It is therefore extremely important to know the wave climate in the region for a better design and maintenance of both new and existent coastal structures.

Due the importance of this topic, the purpose of this study is to characterize the sea waves at the Bay of Maputo. The data for a reference point in the bay area were obtained with the *NWW3* model and analysed with formulations found in the state of the art.

The mean wave climate was analysed with the *Matlab* program. A seasonal dependence was shown. One energetic wave period (from April until September) with waves from the South-Southwest and Southwest is followed by a period with less energetic waves (October to March) from East- Southeast, South-Southwest and Southwest.

For the analysis of extreme wave climate, were selected independent maximum storms. It depends mainly on the choose of the significant height limit and on the minimum interval between the storms. For the extrapolation of existing data was taken into account following the functions of probability distribution: Gumbel, Frechet and Weibull, and methods of adjustment: moments, maximum likelihood and least squares. In this study the Weibull and Gumbel's functions were shown to fit best the region's data. This agrees with the state of the art where Weibull and Gumbel's functions are presented as the best approximations for similar data.

Keywords: Maputo Bay. NWW3 Model. Waves. Extreme Weather.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Objectivos do Estudo.....	2
1.2. Metodologia.....	2
1.3. Estrutura da Tese	3
2. Caracterização da Agitação Marítima.....	4
2.1. Fontes de Informação.....	4
2.2. Ondulação a Curto Prazo-Characterização da Ondulação Irregular	5
2.2.1. Descrição Estatística.....	6
2.2.2. Descrição Espectral	10
2.3. Descrição da Ondulação a Longo Prazo	12
2.3.1. Caracterização a Médio Prazo.....	12
2.3.1.1. Clima de Ondulação	13
2.3.1.2. Rosas de Ondulação	17
2.3.1.3. Tabelas de Contingência	18
2.3.2. Caracterização Extrema.....	18
2.3.2.1. Definição do Sucesso Extremo.....	20
2.3.2.2. Funções de Distribuição de Probabilidade (FDP's)	21
2.3.2.3. Métodos de Ajuste das FDP's.....	22
2.3.2.4. Frequência de Ponta	23
2.3.2.5. Variável Reduzida da Função.....	24
2.3.2.6. Período de Retorno e Altura de Onda de Desenho	28
2.3.2.7. Bondade dos Ajustes.....	29
2.3.2.8. Fontes de Incerteza e Intervalos de Confiança.....	30
2.3.2.9. Método dos Máximos Anuais.....	32
2.3.2.10. Coeficientes de Direccionalidade	32
3. Descrição da Área em Estudo.....	34
3.1. Características Físicas da Baía de Maputo	34
3.1.1. Localização	34
3.1.2. Clima.....	34

3.1.3.	Principais Cidades e a sua Demografia	35
3.2.	Aspectos Sócio – Económicos da Baía de Maputo	35
3.3.	Principais Entidades Ligadas à Área Marítima no País	36
4.	Análise dos Dados de Ondulação na Baía de Maputo	38
4.1.	Fontes de Dados de Agitação para a Baía de Maputo	38
4.1.1.	Descrição do Modelo NWW3	39
4.2.	Seleção da Amostra	40
4.3.	Tratamento e Processamento dos dados de ondulação	41
4.3.1.	Análise do Clima Médio	41
4.3.2.	Análise do Clima Extremo	43
4.3.2.1.	Programa AnaTorBo	44
4.3.2.2.	Programa Estones	45
5.	Apresentação e Discussão dos Resultados	48
5.1.	Clima Médio	48
5.1.1.	Clima de Ondulação	49
5.1.2.	Rosas de Ondulação	51
5.1.3.	Tabelas de Contingência	52
5.2.	Clima Extremo	54
5.2.1.	Seleção da Série de Máximos Independentes	54
5.2.2.	Ajustes às Funções de Distribuição de Probabilidades	56
6.	Conclusões	59
7.	Futuras Linhas de Trabalho	60
BIBLIOGRAFIA		61
	Referências Bibliográficas	61
	Bibliografia Complementar	62

ANEXOS

ANEXO 1: Dados de 1998-2010.

ANEXO 2: Análise do Clima Médio.

ANEXO 3: Análise do Clima Extremo.

ANEXO 4: Resumo do Artigo Aceite para as 7^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária.

Lista de Siglas

ASCII	American Standard Code for Information Interchange (Código Padrão Americano para a Troca de Informações)
CEM	Curva de Estado de Mar
CENADO	Centro Nacional de Dados Oceanográficos
CFM	Caminhos de Ferro de Moçambique
CMCM	Conselho Municipal da Cidade de Maputo
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research (Conselho de Pesquisa Científica e Industrial)
FDP	Função de Distribuição de Probabilidade
FFT	Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier)
GDAS	Global Data Assimilation Scheme (Projecto de Assimilação de Dados Globais)
GFS	Global Forecast System (Sistema de Previsão Global)
GRIB	Gridded Binary (Grade Binária)
IMAF	Instituto Nacional de Mar e Fronteiras
INAHINA	Instituto Nacional de Hidrografia e Navegação
INAMAR	Instituto Nacional da Marinha
INE	Instituto Nacional de Estatística
K - S	Kolmogorov – Smirnov
MPDC	Maputo Port Development Company (Porto de Maputo)
NCEP	National Centers for Environmental Prediction (Centros Nacionais para Previsão Ambiental)
NDFD	National Digital Forecast Database (Base de Dados Nacional Digital de Previsão)
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Administration (Administração Nacional Oceanográfica e Atmosférica)
NWW3	NOAA Wave Watch III
POT	Peak Over Threshold (Método dos Valores de Pico)
ROM	Recomendações para Obras Marítimas

Lista de Figuras

Figura 2.1 Bóias ondógrafo (Fonte: Google imagens, 1 de Fevereiro de 2011)	4
Figura 2.2 Registo da variação da superfície livre do mar obtido por uma bóia ondógrafo	6
Figura 2.3 Definição de altura de onda e período num registo de bóia ondógrafo	7
Figura 2.4 Função de densidade do tipo Rayleigh sobre as alturas de onda (Fonte: Gràcia, 2003)	8
Figura 2.5 Espectro de energia da ondulação (Fonte: Gràcia, 2003)	10
Figura 2.6 Curva de estados de mar (Fonte: Gràcia, 2003)	12
Figura 2.7 Determinação dos períodos de não excedência para um limite de 1m a partir de uma curva de estados de mar (Fonte: Gràcia, 2003)	14
Figura 2.8 Clima médio da ondulação (Fonte: Gràcia, 2003)	16
Figura 2.9 Exemplo de Rosa de Ondulação	17
Figura 2.10 Caracterização de temporais a partir de uma CEM (Fonte: Gràcia, 2003) ..	20
Figura 3.1 Localização e delimitação da baía de Maputo	34
Figura 3.2 a) Actividade pesqueira; b) Actividade portuária, respectivamente	35
Figura 3.3 a) Estação de ferryboat Maputo-Catembe; b) Porto de Maputo, respectivamente	36
Figura 4.1 Localização do ponto do modelo usado no estudo	41
Figura 5.1 Curvas de estados de mar para o ano de 2004	48
Figura 5.2 Gráficos das médias mensais de H_s e médias dos máximos mensais de H_s (1998-2010)	48
Figura 5.3 Histogramas de distribuição de H_s e T_p	50
Figura 5.4 Rosas de ondulação	51
Figura 5.5 Temporais verificados em cada ano da amostra.	55
Figura 5.6 Temporais verificados em cada mês da amostra.	55
Figura 5.7 Representação gráfica de H_s (T_r).	58

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Relações de H_n e H_s para uma distribuição do tipo Rayleigh.....	9
Tabela 2.2 Cálculo do clima de ondulação através de informação visual.....	14
Tabela 2.3 Funções de distribuição de probabilidade para análise extrema	22
Tabela 2.4. Coeficientes da fórmula empírica de desvio padrão para altura significativa extrema.....	31
Tabela 2.5 Intervalos de confiança para altura sinificativa extrema.....	32
Tabela 4.1 Informação adicional sobre o modelo NWW3.....	39
Tabela 5.1 Médias mensais de H_s e médias dos máximos mensais de H_s (1998-2010).....	49
Tabela 5.2 Tabelas de contingência $T_p - H_s$ para os períodos de 1998-2010 (a)), verão de 1998-2010 (b)) e inverno de 1998-2010 (c))......	52
Tabela 5.3 Principais características dos temporais de 1998-2010, para $H_{slimite}=4m$	55
Tabela 5.4 Principais parâmetros obtidos nos ajustes às F.D.P's para $H_{slimite}= 4m$	56
Tabela 5.5 Principais parâmetros obtidos nos ajustes às F.D.P's para $H_{slimite}= 4.5m$	57
Tabela 5.6 Coeficientes para as FDP's com melhores ajustes.....	57
Tabela 5.7 Alturas significativas em função do período de retorno	58

**CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA
AO LARGO DA BAÍA DE MAPUTO**

1. Introdução

A zona costeira de Maputo assume um papel de extrema importância na economia da região e do país pois, para além de possuir uma enorme diversidade paisagística, é palco de actividades portuárias e lúdico-turísticas. Nos últimos anos, nesta zona, tem-se verificado uma enorme erosão e a degradação de algumas estruturas marítimas com consequentes impactos económicos, ambientais e sociais.

O bom conhecimento das condições de agitação marítima e das acções hidrodinâmicas que actuam sobre uma obra marítima é fundamental para o seu correcto dimensionamento, tanto do ponto de vista de estabilidade como de funcionalidade e para a escolha dos processos construtivos a empregar.

O clima de agitação marítima é expresso em termos de altura de onda, período e direcção. Para a caracterização da agitação marítima, numa dada região, requer-se a recolha e análise de dados durante um período de tempo consideravelmente longo.

A caracterização da ondulação ao largo da Baía de Maputo consistiu, basicamente, numa descrição da ondulação a longo prazo, o que inclui os regimes médio e extremo de ondulação. Para este estudo, devido às condicionantes encontradas, foram usados dados espectrais procedentes de um modelo numérico NWW3 (Tolman, 2002).

O presente estudo representa o início de uma longa batalha para eliminar a pilha de pressupostos no dimensionamento das estruturas costeiras, de Maputo e do país em geral, e passar-se à estimativas mais precisas.

1.1. Objectivos do Estudo

Este trabalho tem como principal objectivo caracterizar o clima de agitação marítima ao largo da Baía de Maputo, com base em dados de agitação disponíveis (altura, período e direcção das ondas).

Para alcançar o objectivo acima proposto, identificaram-se os seguintes objectivos específicos:

- Efectuar a revisão bibliográfica sobre engenharia marítima e portuária, no que diz respeito a caracterização da agitação marítima;
- Identificar os dados de agitação e hidrodinâmica marítima, disponíveis para a Baía de Maputo;
- Caracterizar o clima médio (importante para a funcionalidade de estruturas marítimas), analisando a distribuição da frequência de ocorrência dos parâmetros altura, período e direcção das ondas;
- Caracterizar o clima extremo, que é fundamental para a estabilidade de estruturas marítimas.

1.2. Metodologia

A caracterização do clima de agitação ao largo da Baía de Maputo consistiu nas seguintes etapas:

- Análise de bibliografia sobre a caracterização da agitação marítima e de estudos e projectos concebidos e implementados em Maputo, recorrendo a entidades como o Conselho Municipal da Cidade de Maputo (CMCM) e o Maputo Port Development Company (MPDC);
- Levantamento de fontes de dados de agitação marítima para a Baía de Maputo, recorrendo a: entidades locais ligadas à área marítima, fóruns e páginas da internet ligadas à hidrografia e oceanografia (ex: página virtual do National Oceanographic and Atmospheric Administration, NOAA);
- Análise dos dados de ondulação disponíveis para a Baía de Maputo, procedentes

do modelo numérico NWW3, correspondentes ao período de 1998 à 2010, que compreendeu o estudo: do clima médio com o auxílio do programa *Matlab* que permitiu, de forma rápida e concisa, a análise estatística e probabilística dos dados existentes; e do clima extremo, com auxílio do programa *AnaTorBo* (Gómez, 1999) para a selecção dos temporais, ou seja, da amostra que será usada na caracterização extrema e, finalmente, do programa *Estones* (Vergés, 1995) que permite a extrapolação dos dados existentes para diferentes períodos de retorno;

- Análise crítica e conclusiva dos resultados obtidos na pesquisa, através da comparação dos mesmos e dos respectivos métodos empregues na sua obtenção com aquilo que é a prática corrente.

1.3. Estrutura da Tese

Para uma melhor compreensão desta tese, tendo em conta os seus objectivos, este apresenta-se dividido em sete capítulos, que podem ser agrupados, formando três secções principais.

A primeira secção foi a parte introdutória (capítulo 1) em que se apresentaram os objectivos do estudo e a metodologia de pesquisa aplicada.

Na segunda secção apresenta-se o estudo desenvolvido, que compreende: a revisão bibliográfica sobre a caracterização da ondulação (capítulo 2); e os capítulos 3 e 4 que correspondem ao estudo de caso, fazendo-se uma descrição geral da região em estudo e a análise dos dados de ondulação para a Baía de Maputo.

Na última secção, faz-se uma análise crítica dos resultados (capítulo 5), apresentando-se, em seguida, as conclusões e recomendações (capítulos 6 e 7, respectivamente). As outras informações relevantes para a compreensão do trabalho são apresentadas nos anexos.

2. Caracterização da Agitação Marítima

2.1. Fontes de Informação

O estudo da agitação marítima (tanto a curto prazo, como a longo prazo) requer uma informação detalhada de determinados parâmetros que possam caracterizar o fenómeno. Sendo assim, existem diferentes fontes de dados sobre as quais se podem realizar as análises, agrupando-se em três categorias: a) dados instrumentais, b) dados visuais e c) dados procedentes de simulações numéricas.

a) Dados Instrumentais

São adquiridos por sensores, na sua maioria bóias ondógrafo (vêr Figura 2.1), que podem ser de dois tipos: escalares (que medem, a altura e o período da onda) e direccionais (em que se obtém, para além da altura e do período, a direcção da onda).

A vantagem das bóias ondógrafo reside na qualidade de dados que as mesmas proporcionam, embora a sua instalação acarrete vários custos, riscos de destruição e se verifique a escassez destes instrumentos no litoral Moçambicano.



Figura 2.1 Bóias ondógrafo (Fonte: Google imagens, 1 de Fevereiro de 2011)

b) Dados Visuais

Provêm das observações realizadas por barcos que circulam ao longo de todas as costas do mundo (*World Meteorological Office*) e são obtidos de forma sistemática, desde os anos 50, sendo que um observador recolhe, entre outras, informação sobre a altura de onda, período e direcção das ondulações, ondas de vento ou superficiais (conhecidas em inglês como *SEA*) e ondas de tempestades ou profundas (em inglês, *SWELL*). As ondas de vento são as ondas formadas pela acção directa e contínua

existente e, caracterizam-se por serem muito irregulares. Contrariamente, as ondas do tipo *SWELL* abandonam a zona de geração (zona em que se desenvolvem as ondas de vento), propagam-se pela superfície, resultando numa ondulação mais homogénea e com menor dispersão direcciona.

Uma das grandes vantagens deste tipo de dados é o grande número de observações existentes e a caracterização completa do sucesso da ondulação (definido pela altura, período e direcção). No entanto, a informação visual é, muitas vezes, distorcida, não representando adequadamente os episódios de maior conteúdo energético, pois os barcos procuram evitar a acção de grandes temporais que são perigosos para a navegação.

c) Modelos Numéricos de Previsão de Agitação Marítima

Geralmente, recorrem-se aos modelos numéricos quando não é possível encontrar informação nem visual, nem instrumental ou caso alguma delas se encontre incompleta, não existindo informação sobre a direcção ou verificando-se grandes lacunas entre os registos. As ondulações podem ser reproduzidas a partir de informação meteorológica, usando estes modelos.

O problema deste tipo de dados é a necessidade de calibrar os modelos usados e o custo computacional envolvido. Contudo, actualmente, são cada vez mais usados pois cobrem de forma mais detalhada praticamente todas as linhas de costas e começam a formar uma base de dados de mais de 3 anos, na maioria casos. Além disso, a informação disponibilizada inclui a data de publicação.

2.2. Ondulação a Curto Prazo-Characterização da Ondulação Irregular

Quando se observa a ondulação em um determinado ponto da costa, nota-se que na maioria das vezes, trata-se de um processo irregular, ou seja, as alturas de onda, períodos e direcções não são sempre as mesmas, apresentando uma certa variabilidade. Contudo, quando se trata de caracterizar o fenómeno observado (mediante uma estima visual, por exemplo), simplifica-se o processo assumindo um único valor para cada uma das variáveis mencionadas.

Supondo que se pode determinar com grande resolução (recurso à bóias ondógrafo) as variações da superfície livre (η) durante um período de tempo suficientemente longo para representar a ondulação que se pretende analisar (usualmente, 20 ou 30 minutos), obter-se-á um registo temporal, tal e como ilustrado na Figura 2.2, onde observa-se que para esse período de tempo, existe uma grande variação de alturas e períodos.

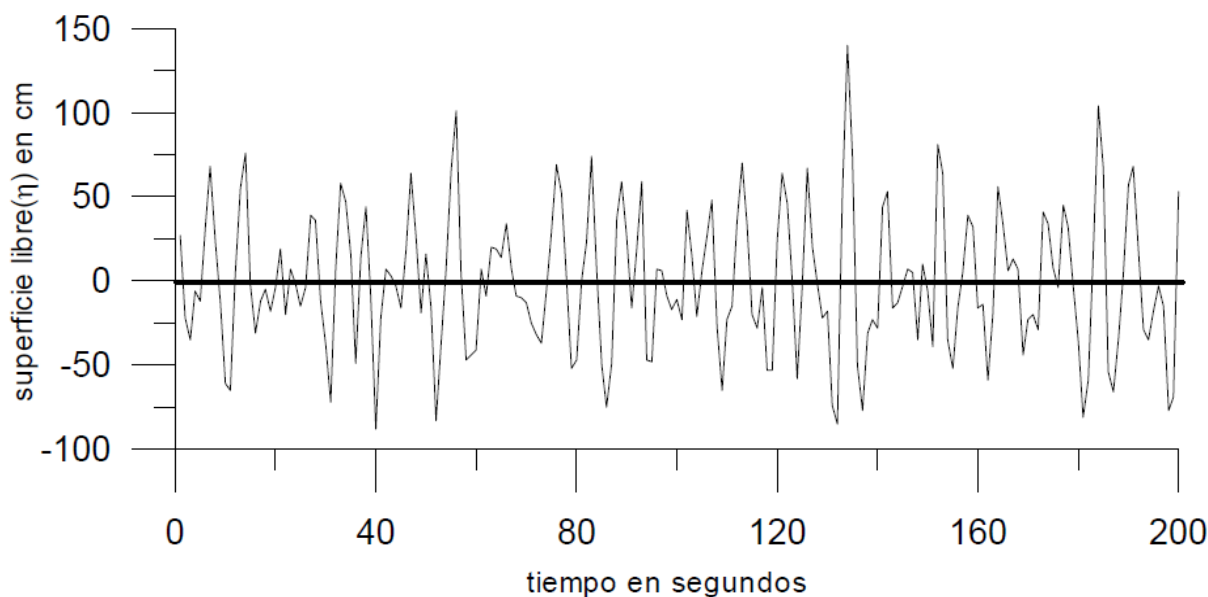


Figura 2.2 Registo da variação da superfície livre do mar obtido por uma bóia ondógrafo

(Fonte: Gràcia, 2003)

2.2.1. Descrição Estatística

A questão que se coloca agora é como definir, de forma geral, o sucesso altura de onda (H_i) e período (T_i). No primeiro caso, H_i é definida como a diferença entre o máximo e o mínimo existentes entre dois zeros descendentes; e, o período T_i é o tempo decorrido entre ambos episódios (zero descendente), o que se pode observar na Figura 2.3. Este critério permite caracterizar o registo (20 minutos) mediante um conjunto de N alturas de onda H_i e períodos T_i , sobre o qual se pode realizar uma análise estatística, para que o fenómeno seja caracterizado por um único valor de altura de onda e período. Neste sentido, os parâmetros representativos da ondulação mais usados são: altura de onda significativa (H_s ou $H_{1/3}$), altura da onda média quadrática (H_{rms}), altura de onda máxima (H_{max}) e, período médio T_z .

- Altura de onda significativa (H_s ou $H_{1/3}$) é a média aritmética do terço das ondas mais altas do conjunto de N ondas do registo;
- Altura de onda média quadrática (H_{rms}) é dada por:

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N H_i^2}{N}} \quad (\text{Equação 2.1})$$

- Altura de onda máxima (H_{max}) é a maior altura do conjunto $N H_i$;
- Período médio (T_z) é o período médio dos períodos definidos como zeros ascendentes.

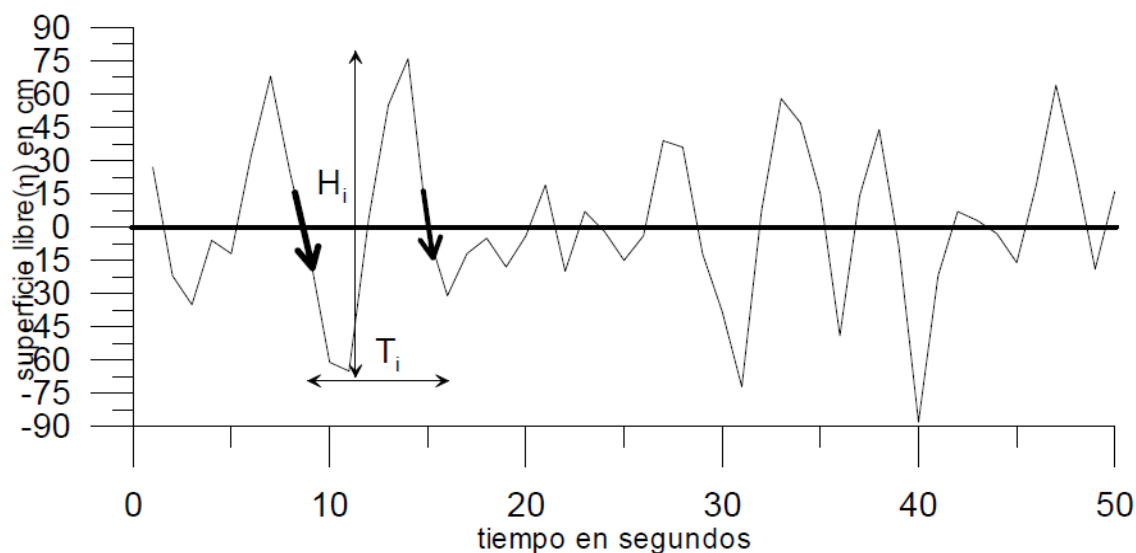


Figura 2.3 Definição de altura de onda e período num registo de bóia ondógrafo

(Fonte: Gràcia, 2003)

Conhecidas as características do fenómeno nos termos estatísticos mencionados, pode ser interessante definir qualquer altura de onda (do conjunto de N ondas) em termos de probabilidade, isto é, a probabilidade de um certo valor de H ser superado dentro do conjunto registado (20 minutos, por exemplo). Para isso, é necessário conhecer o modelo de distribuição de probabilidade do sucesso H_i . Neste sentido, Longuet-Higgins (1952) assume que a ondulação é um processo aleatório e que as alturas de onda podem ser explicadas mediante uma distribuição gaussiana, demonstrando que uma

função do tipo Rayleigh é a que melhor representa o fenómeno (originalmente, definido em estados de alta energia).

A função do tipo Rayleigh ou função de densidade é definida como:

$$p(H) = \frac{2H}{(H_{rms})^2} e^{-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Sendo: $p(H)$ a probabilidade de ocorrência do sucesso H . A integração da função resulta na função de distribuição de probabilidade $P(H)$, isto é, a percentagem de ondas que apresentam uma altura de onda menor ou igual à H e, é dada pela expressão:

$$P(H) = \int_0^H \frac{2H}{(H_{rms})^2} e^{-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2} dH = 1 - e^{-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2} \quad (\text{Equação 2.3})$$

Entretanto, do ponto de vista de Engenharia, é mais conveniente falar-se em termos de probabilidade de excedência (percentagem de ondas que têm uma altura de onda maior que um certo valor H), quer dizer:

$$q = 1 - P(H) = e^{-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2} \quad (\text{Equação 2.4})$$

Ou,

$$\frac{H}{H_{rms}} = \ln\left(\frac{1}{q}\right)^{1/2} = \ln n^{1/2} \quad (\text{Equação 2.5})$$

Sendo: H o valor de altura de onda com uma probabilidade de excedência q (parte tracejada da Figura 2.4).

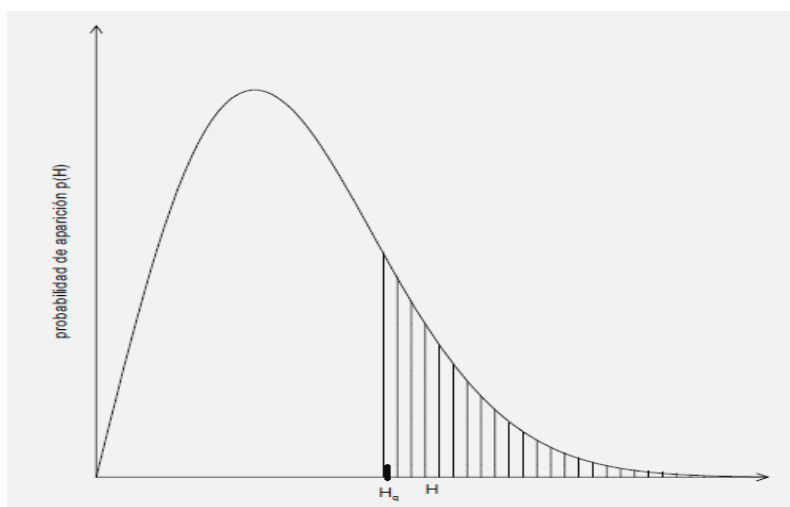


Figura 2.4 Função de densidade do tipo Rayleigh sobre as alturas de onda (Fonte: Gràcia, 2003)

Neste caso, os valores de H_q representam valores a partir dos quais a altura de onda é excedida com uma certa probabilidade q , e não valores médios, como poderia ser o caso de $H_{1/3}$. Assim, a altura de onda média de qualquer probabilidade é expressa pela relação:

$$\frac{H_1}{n} = \frac{\int_{H_q}^{\infty} P(H)HdH}{\int_{H_q}^{\infty} P(H)dH} \quad (\text{Equação 2.6})$$

Obtendo-se para a altura significativa:

$$H_{\frac{1}{3}} = \sqrt{2}H_{rms} = 1.41H_{rms} \quad (\text{Equação 2.7})$$

Uma das grandes vantagens desta aproximação, para o problema, é o facto de poder determinar qualquer valor de H_q a partir de um valor conhecido de H_{rms} . Assim, operando as expressões, obtêm-se as relações da Tabela 2.1. Por exemplo, o valor médio de 1% das ondas mais altas é 1.67 vezes a altura de onda significativa (nota-se que o valor de $n=100$ representa a média da população).

Longuet-Higgins (1952) propôs a expressão para o cálculo da altura de onda máxima de um registo de N ondas, dada por:

$$H_{max} = 0.707H_{33}\sqrt{\ln N} \quad (\text{Equação 2.8})$$

Sendo H_{33} a altura de onda significativa.

Tabela 2.1 Relações de H_n e H_s para uma distribuição do tipo Rayleigh

n	H_n/H_s
1	1.67
2	1.56
5	1.40
10	1.27
20	1.12
33	1.00
50	0.89
100	0.63

2.2.2. Descrição Espectral

Até agora, a descrição da ondulação foi realizada no domínio do tempo, usando, para isso, uma aproximação estatística ao problema. O registro das variações da superfície livre do mar pode ser tratado de uma forma espectral, ou seja, a ondulação irregular observada pode ser decomposta em um número de ondas sinusoidais (regulares ou de frequência conhecida), cuja soma dá a ondulação original (ver Figura 2.5). Esta decomposição de frequências é realizada mediante o algoritmo da transformada rápida de Fourier (em inglês, *Fast Fourier Transform*, *FFT*).

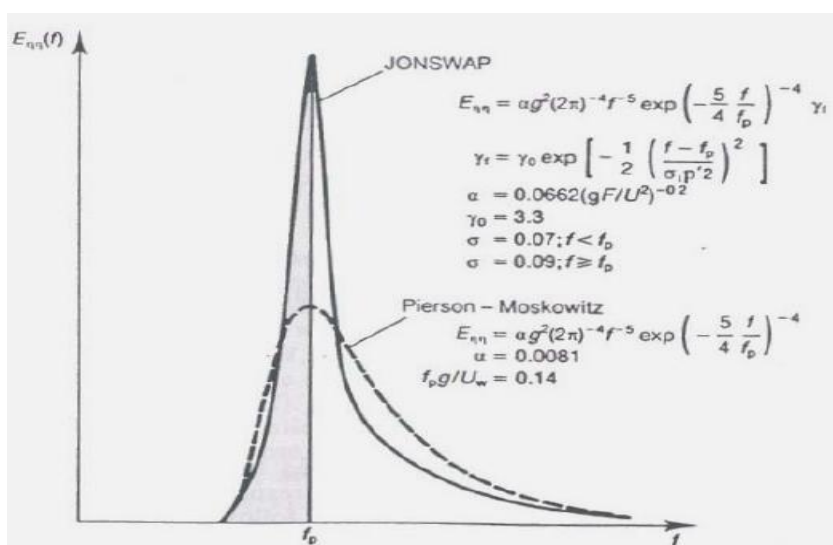


Figura 2.5 Espectro de energia da ondulação (Fonte: Gràcia, 2003)

Um espectro de energia $S(\omega)$ ($\omega = 2\pi/T$) representa a energia associada a cada uma das frequências da ondulação (irregular) estudada, podendo-se distinguir dois extremos:

- Espectro de ondulação de banda larga que apresenta uma grande variedade de frequências e corresponde aos estados do mar mais irregulares, típicos dos estados do mar de tipo *SEA* e fetch limitado;
- Espectro de ondulação de banda estreita que se caracteriza por apresentar intervalos de frequência com conteúdo energético limitado e é característico dos estados do mar desenvolvidos fora da zona de geração da ondulação, como a ondulação do tipo *SWELL*.

De forma geral, o espectro de energia será indicativo do estado do mar observado, podendo-se obter espectros bimodais, indicativos dos estados do mar do tipo *SEA* e *SWELL*, existentes de forma simultânea.

Uma forma de calcular a largura do espectro é pelo uso da equação:

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \left(2 \frac{N_{ondas}}{N_{max}}\right)^2} \quad (\text{Equação 2.9})$$

Onde: N_{ondas} representa o número total de ondas avaliadas no espectro; N_{max} é o número de máximos.

Sendo que a função de densidade espectral ($S(\omega)$) indica a distribuição de energias para diferentes frequências, o seu integral em todo o domínio (momento de ordem 0) determina a energia total da ondulação observada (Equação 2.10):

$$E_{total} = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega = m_0 \quad (\text{Equação 2.10})$$

Para o caso de uma ondulação do tipo *SWELL* puro (espectro de banda estreita) e, assumindo uma função de densidade do tipo Rayleigh para a distribuição de probabilidades de altura da onda, obtém-se que a altura de onda significativa é dada por:

$$H_s \cong \sqrt{2}H_{rms} \cong \sqrt{2}\sqrt{8m_0} = 4\sqrt{m_0} = H_{m0} \quad (\text{Equação 2.11})$$

Definindo-se, assim, uma altura de onda significativa espectral válida, apenas, para os estados do mar descritos, embora, muito usada em qualquer tipo de espectro (para maior largura espectral, a relação deixa de ser válida).

Por outro lado, o espectro mostra um pico nas frequências $\left(f = \frac{1}{T}\right)$ onde a energia é maior (Figura 2.5) denominado período de pico (T_P) que indica período das distintas ondulações associado ao maior conteúdo energético.

Nos últimos anos, os métodos de medição da superfície livre têm sido melhorados, podendo-se obter, ainda, a componente de direcção (bóias ondógrafo direccionais). Esta nova variável, a direcção (θ) pode ser incorporada na análise espectral, obtendo-se um espectro direccional completo ($S(\omega, \theta)$).

2.3. Descrição da Ondulação a Longo Prazo

A análise a curto término resulta na caracterização do fenómeno (ondulação) em termos de altura da onda, período e direcção. Ao estender os resultados no tempo (anos) se obtém uma série temporal da ondulação ou curva de estados de mar (CEM) que não é nada mais que o reflexo histórico das acções que tenham tido lugar em um determinado ponto da costa (vêr Figura 2.6).

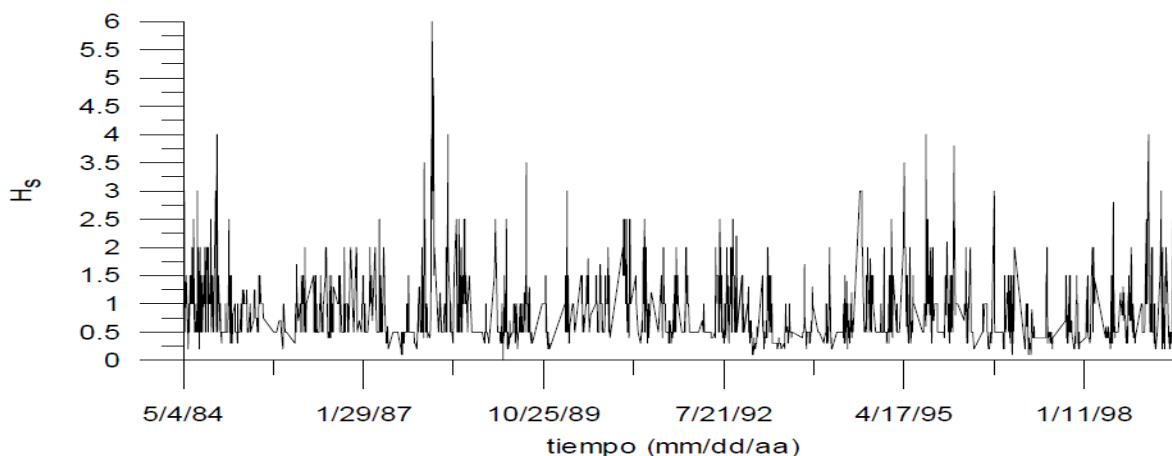


Figura 2.6 Curva de estados de mar (Fonte: Gràcia, 2003)

Os dados visuais, por sua natureza (estimativas subjectivas tomadas a cada 6 ou 12 horas), não permitem uma representação contínua do estado do mar existente.

Sobre este registo histórico de dados interessa conhecer qual é a distribuição de ondulação em condições médias (ano médio) ou para determinar as características da ondulação em condições extremas. No primeiro caso fala-se da caracterização da ondulação a médio prazo, regime de ondulação ou clima médio, enquanto que no segundo caso fala-se de regime temporário ou clima extremo. Em ambos os casos, o estudo se realiza com recurso à análise estatística.

2.3.1. Caracterização a Médio Prazo

O principal objectivo desta caracterização é reproduzir as condições mais frequentes de ondulação, visto que o seu resultado será imprescindível para estudos da dinâmica litoral, exploração de portos e planificação de obras. Assim, o transporte de sedimentos está estreitamente relacionado com a ondulação incidente existente numa costa. Em

relação à exploração portuária, é necessário conhecer, por exemplo, o tempo (em termo médio) que um canal pode estar operacional para as operações de entrada ou atraque de barcos. Finalmente, a construção ou manutenção de qualquer obra marítima se realizará, preferencialmente, nos momentos do ano em que as condições de agitação sejam as mais favoráveis.

O estudo estatístico a médio prazo se efectua através de:

- Regimes médios (escalares ou direccionais);
- Rosas de ondulação (distribuição direccional das alturas);
- Tabelas de contingência (relações entre alturas da onda e períodos).

2.3.1.1. Clima de Ondulação

No regime médio da ondulação realiza-se um estudo de probabilidade de que um determinado valor de altura de onda não seja superado (não excedência) num período de tempo igual a um ano médio. Trata-se de encontrar uma função de distribuição estatística no qual em um ano médio uma altura de onda não exceda um valor.

As funções de distribuição de probabilidade de não excedência mais usadas são:

- Função Lognormal: $F(x) = \frac{1}{B\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - A}{B} \right)^2 \right] dx;$ (Equação 2.12)
- Função Exponencial: $F(x) = 1 - \exp [-B(X - A)];$ (Equação 2.13)
- Função Weibull: $F(x) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{x-A}{B} \right)^C \right].$ (Equação 2.14)

Onde: x é o valor da variável e A , B e C são os parâmetros de posição, escala e forma da função.

O cálculo do clima da ondulação depende do tipo de dados disponíveis, mas que, obviamente, deverá ser o máximo possível para poder representar correctamente o fenómeno.

No caso de se partir de dados de bóias ondógrafo (instrumentais), ou seja, a partir da informação de uma curva de estados de mar, o período mínimo deverá ser de um ano

com um nível de valores válidos superior a 75% (274 dias). A partir destes dados determina-se o tempo de não excedência das alturas em intervalos de 0.25m a 0.5m (vêr Figura 2.7), de forma que a probabilidade de sucesso é simplesmente:

$$P(H_i < H_0) = \frac{\sum t_{H_0}}{T_{total}} \quad (\text{Equação 2.15})$$

Onde: H_0 representa o limite de altura de onda.

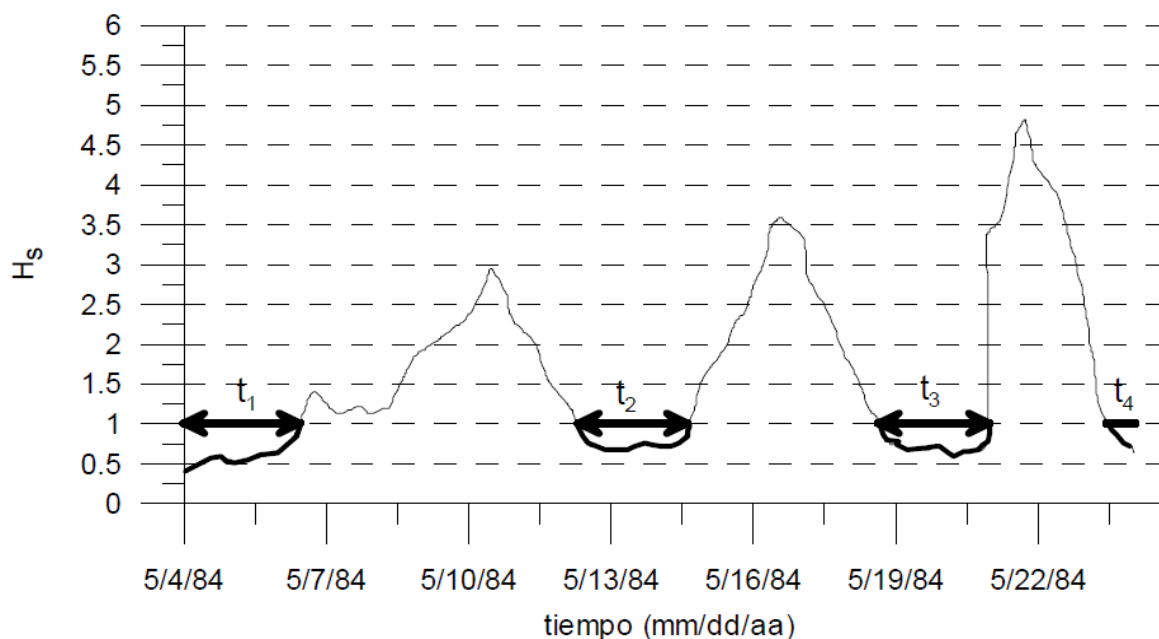


Figura 2.7 Determinação dos períodos de não excedência para um limite de 1m a partir de uma curva de estados de mar (Fonte: Gràcia, 2003)

Caso se parta de uma informação visual, a atribuição de probabilidades deve realizar-se a partir de um histograma acumulado de alturas de onda (a representação do fenómeno no tempo não é uma função contínua) com incrementos de 0.5m (discretização das alturas originais), quer dizer, a probabilidade de não excedência resulta tal como na Tabela 2.2. Neste caso, recomenda-se que a marca da classe escolhida (semi-soma dos intervalos do ramo) coincida com os valores medidos.

Tabela 2.2 Cálculo do clima de ondulação através de informação visual (Fonte: Gràcia, 2003)

intervalo	No. Observaciones	P no excdencia
0.0 - 0.5	5000	5000/Ntotal obs
0.5 - 1.0	4500	(5000+4500)/Ntotal obs
1.0 - 1.5	2000	(5000+4500+2000)/Ntotal obs
1.5 - 2.0	1500	(5000+4500+2000+1500)/Ntotal obs

Há que recordar que a informação visual discrimina 2 tipos de estados do mar: *SEA* e *SWELL*, pelo que se recomenda reduzir ambos tipos de dados a um único valor (Darbyshire e Draper, 1963) de forma que:

$$H = \max(H_{SEA}; H_{SWELL}) \quad \text{se } \theta_{SEA} - \theta_{SWELL} < 45^\circ \quad (\text{Equação 2.16})$$

$$H = \sqrt{H_{SEA}^2 + H_{SWELL}^2} \quad \text{para os casos restantes} \quad (\text{Equação 2.17})$$

No caso de não se dispor de forma simultânea de ambos estados do mar, falta de registo ou fontes de dados resumidas (ou seja, não se tem a informação original mas que se disponha de informação já elaborada), recomenda-se que se calcule o produto das probabilidades de ambos, visto que são sucessos independentes e não exclusivos.

Uma vez determinada a amostra ou conjunto de dados (altura de onda e probabilidade de não excedência), o passo seguinte é determinar os parâmetros de posição, escala e forma da função de distribuição escolhida (factores *A*, *B* e *C*). Não existe uma norma sobre qual é a função que melhor se ajusta a este tipo de dados, devendo-se realizar a análise para todas elas e escolher, finalmente, a que apresente um melhor resultado. No entanto, sabe-se que nem todas elas explicam de forma óptima e por igual todo o ramo de probabilidades.

A função lognormal apresenta um bom ajuste na zona média.

A função exponencial mostra, em alguns casos, um bom ajuste para a zona média-alta e menor na zona baixa.

A função Weibull por ser tri-paramétrica (possui os parâmetros *A*, *B* e *C*) deveria apresentar melhores ajustes, mas isto não é exactamente certo, pois a função não é definida para valores de sucesso inferiores ao parâmetro *A* (restrição) e um melhor ajuste de *A* (mesmo na faixa de validade da função) não representa, necessariamente, melhorias na sua parte central ou alta (que é a priori a zona de interesse do ajuste). Dada esta indeterminação é muito comum, neste tipo de análises, converter a função em bi-paramétrica, dando a *A* um valor igual a zero.

Existem 3 formas de determinar os parâmetros *A*, *B* e *C*:

- a) Método dos Momentos Amostrais, em que os valores podem ser determinados a partir de um determinado número de momentos da amostra, como a média, variância ou momentos superiores;

- b) Método da Máxima Verossimilhança, em que se pretende encontrar valores de A , B e C de forma que a probabilidade de encontrar o valor da amostra seja máxima;
- c) Método Gráfico, em que se pretende ajustar as funções (mediante o uso de variáveis reduzidas) por mínimos quadrados.

Indiferentemente da aproximação usada, no resultado final tem que se apresentar a função de distribuição de probabilidade de não excedência para o sucesso altura de onda. Supondo que se pretende avaliar o tempo que um canal de um determinado porto desportivo pode estar operacional (dias por ano), de forma média, com um limite máximo de agitação permitida (H_s), a resposta a esta questão passa por conhecer o clima de ondulação da zona (Figura 2.8) e, neste caso, o resultado obtido é uma operacionalidade de 98% do tempo (358 dias).

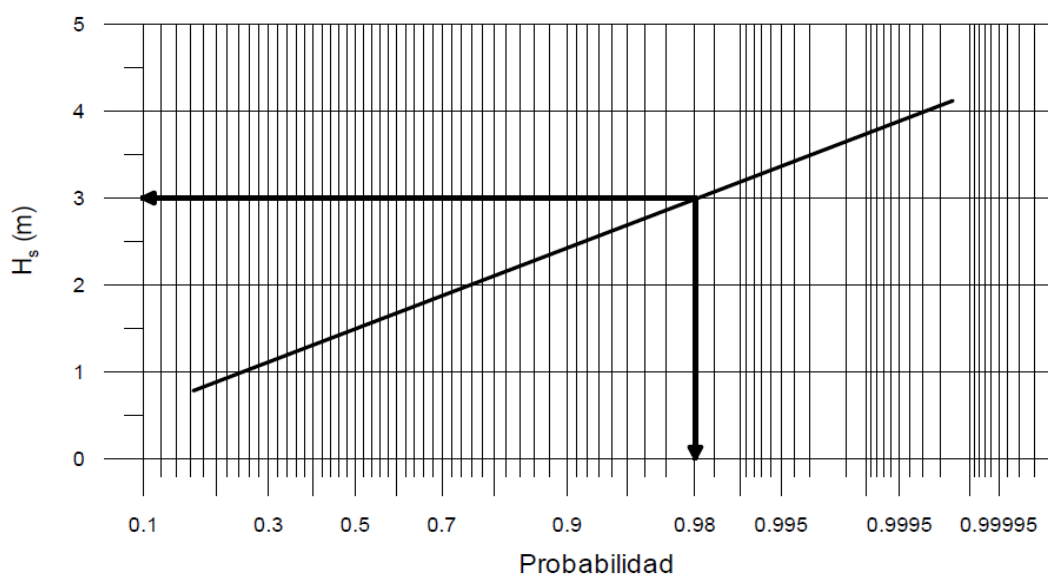


Figura 2.8 Clima médio da ondulação (Fonte: Gràcia, 2003)

No caso de a ondulação estar definida em águas profundas, há que refractar-se até ao ponto de interesse, para poder-se fazer a análise do clima de ondulação, visto que é necessário considerar os efeitos de possível aumento da altura de onda que podem existir na propagação da ondulação até o pé da obra.

Até agora, a abordagem ao cálculo foi meramente escalar, no entanto, dispor de dados da direcção melhora as estimas do sucesso, visto que se incorporam no cálculo as direcções que são de interesse para o problema (direcções efectivas). Neste caso,

opera-se de forma muito similar a que já foi descrita, embora a análise se realiza para cada sector, ou seja:

$$P(H_i \leq H/\text{sector}) \quad (\text{Equação 2.18})$$

No entanto, a probabilidade absoluta do sucesso H_i é condicionada pelo aparecimento do sector, resultando em:

$$P(H_i \leq H; \text{sector}) = P(H_i \leq H/\text{sector}) * P(\text{sector}) \quad (\text{Equação 2.19})$$

2.3.1.2. Rosas de Ondulação

As rosas de ondulação constituem uma forma muito interessante de apresentar a informação histórica dos registos de ondulação (tanto visuais como instrumentais). Nelas, apresenta-se a intensidade e frequência de ocorrência de alturas de onda de acordo com a sua direcção. Recordando-se que a ondulação é definida pela direcção de origem.

A grande utilidade das rosas de ondulação reside no seu grau de síntese, permitindo a rápida obtenção de uma ideia sobre o tipo de ondulação existente (intensidade e frequência de ocorrência) e as direcções da ondulação (direcções efectivas) que são relevantes para o estudo de dimensionamento de estruturas costeiras.

Na Figura 2.9 mostra-se, a título de exemplo, uma rosa de ondulação, na qual se observa que predominam ondas vindas das direcções sudoeste e noroeste, sendo as alturas de ondas mais representadas as compreendidas entre 2m a 3m.

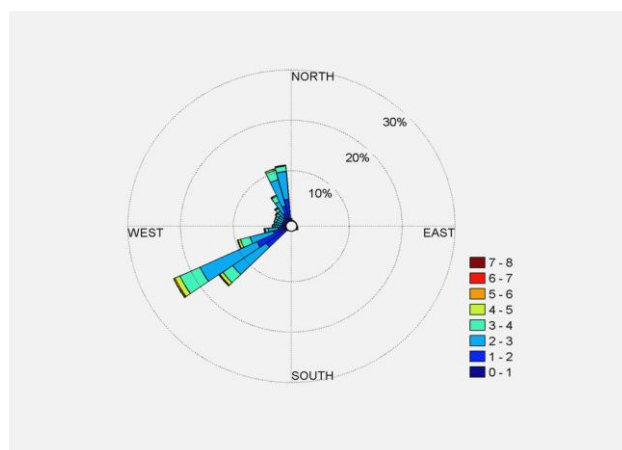


Figura 2.9 Exemplo de Rosa de Ondulação

No caso da rosa de ondulação apresentada, cada cor representa um intervalo de altura de onda; o comprimento de cada elemento de uma dada cor indica a frequência de ocorrência dessa altura, na direcção considerada. Sendo assim, as rosas devem ser acompanhadas pelas respectivas relações de escala. No caso das direcções, o mais comum é dividir a ondulação em sectores de 22.5° (16 direcções) centradas no Norte.

2.3.1.3. Tabelas de Contingência

Até agora, a ondulação foi caracterizada, apenas, pela sua altura onda e direcção. No entanto, a completa determinação do fenómeno passa, inevitavelmente, por conhecer o período associado, visto que este parâmetro intervém, de forma fundamental, no processo de propagação da ondulação. A aproximação mais comum para a definição do período associado a uma determinada ondulação é mediante o uso de tabelas de altura de onda e período (H/T) que podem ser representadas na forma gráfica.

As tabelas cruzadas de altura de onda e período são de grande aplicação quando se pretende resumir (para cada sector) a informação visual, pois contêm (embora de forma discreta) um grande número de combinações de alturas de onda, períodos e direcções que sintetizam a ondulação analisada. Portanto, muitas vezes se pode utilizar uma altura de onda característica para cada período e direcção. Uma forma de realizar esta análise é através da altura de onda morfológica H_{mor} de forma a que:

$$H_{mor} = \left(\frac{\sum H_i^p f_i}{\sum f_i} \right)^{\frac{1}{p}} \quad (\text{Equação 2.20})$$

Sendo: H_i as diferentes alturas dentro de uma marca de classe de períodos para uma direcção; f_i sua frequência de observação associada; p um parâmetro específico, que segundo o CERC (USACE, 1984) toma um valor de 2 para as águas profundas e 2.5 para as águas pouco profundas (derivado a partir do fluxo de energia da ondulação).

2.3.2. Caracterização Extrema

Neste caso, a análise centra-se na caracterização dos eventos extremos ou temporários para a zona em estudo, ou seja, um subconjunto de dados dentro de todos os registos visuais ou da CEM.

O principal objectivo desta análise é poder determinar as acções de dimensionamento que uma obra marítima deverá suportar, em função do risco associado e sua vida útil. O clima extremo também é utilizado para determinar as acções máximas a suportar durante as distintas fases de execução de uma obra e que, supostamente, são menores que as acções na fase de serviço da obra. É uma prática comum assegurar as obras de grande valor económico durante a fase de execução, pois é quase inevitável que certos tramos fiquem expostos a acções de temporais antes de serem finalizados, resultando na destruição do tramo e, conseqüentemente, atraso na finalização da obra.

Os métodos mais usados na análise extrema da ondulação podem se classificar em dois grupos, segundo a informação que utilizam:

a) Método da amostra total: proposto por Draper (1963), revisado por Goda (1979)

Inicialmente definido para os casos em que se dispõe de poucos anos de registos de medições, o método parte de toda a informação de ondulação (altura da onda) registada num determinado período e apoia-se na função de distribuição de probabilidade de não excedência de um ano climático médio (regime médio). Existem aproximações distintas em função do tipo de dados de partida (visual ou instrumental). Assim, se se dispõe de informação instrumental, usa-se a expressão:

$$\Phi(H_s) = [F(H_s)]^{n(H_s)} \quad (\text{Equação 2.21})$$

Sendo: Φ a equação extrema; $F(H_s)$ o regime médio da ondulação e $n(H_s)$ o número de provas estatísticas em um ano médio e é definido como:

$$n(H_s) = \frac{Tn}{t(H_s)} \quad (\text{Equação 2.22})$$

Onde: T é a duração real do ano climático considerado; $t(H_s)$ é o tempo total em que se supera um certo valor de H_s e, n é o número de vezes que se excede esse valor.

b) Método dos valores de pico

É o mais utilizado, embora exija um conjunto de dados muito maior visto que parte de valores máximos registados num determinado período de tempo, que pode ser de um ano ou o máximo de uma acção de temporal. Portanto, distinguem-se dois grandes grupos:

- Método dos máximos anuais;

- Método da série de durações parciais ou método dos valores de pico (em Inglês, *Peak Over Threshold-POT*).

De agora em diante, a análise será centrada nestes dois últimos métodos (máximos anuais e *POT*) por serem os mais utilizados na engenharia marítima, pelo que se requer, à partida, a definição da amostra de temporais.

2.3.2.1. Definição do Sucesso Extremo

Como já se tinha visto, o regime extremo requer a definição de um sucesso extremo, o que é o mesmo que um estado de ondulação com um certo conteúdo energético e, portanto, que se caracteriza por um certo valor de altura de onda, normalmente, altura de onda significativa H_s . Não existe um critério universal que identifique para qualquer mar o que pode ser considerado como ondas temporárias. No entanto, aceita-se, como válida, a seguinte série de critérios para poder defini-las:

- Os eventos extremos seleccionados devem ser independentes, ou seja, a população de temporais não deve pertencer a um mesmo evento (Figura 2.10). Isto passa por determinar a duração de um temporal, de forma geral, para a zona em estudo.

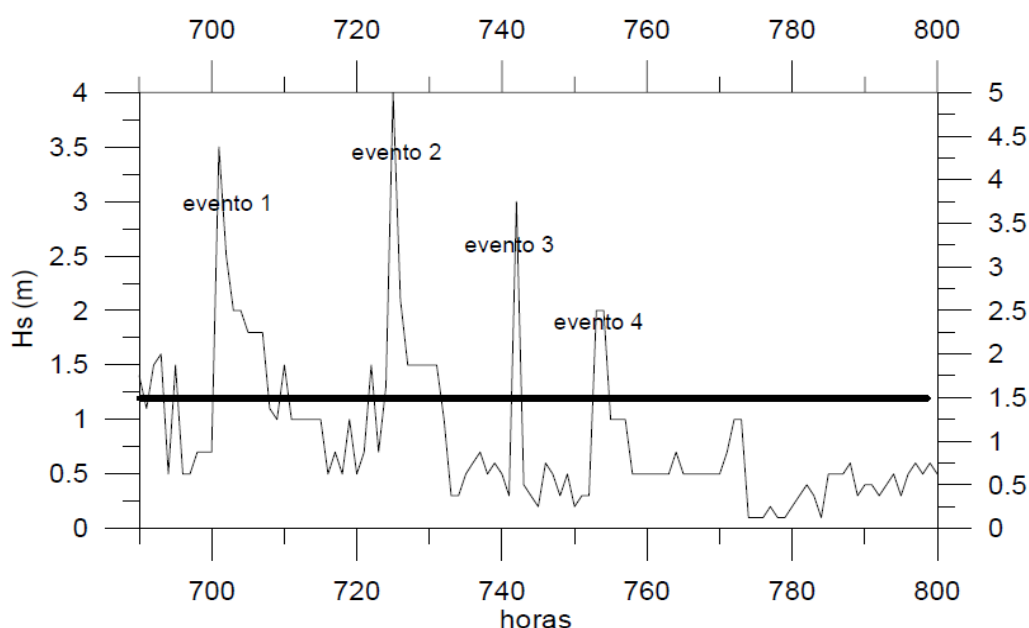


Figura 2.10 Caracterização de temporais a partir de uma CEM (Fonte: Gràcia, 2003)

- b) Todos os eventos extremos devem corresponder a situações climatológicas similares. Por exemplo, não se deveriam misturar episódios de temporais produzidos por um maremoto, com os gerados pela acção contínua do vento intenso (que é o mais comum).
- c) Deve-se cumprir a condição de sazonalidade, isto é, o clima de ondulação observado, da área, não deve ser afectado por tendências (positivas ou negativas) produzidas pelas mudanças de clima (efeito de estufa que modifica os regimes do vento). Actualmente, foi demonstrado que esta condição não se cumpre quando se encontra em grandes escalas de tempo, embora as variações observadas nas tendências cubram períodos de tempo relativamente curtos, não representam mudanças significativas.

Uma vez verificadas estas grandes premissas, a definição do sucesso altura de onda como temporal de ondulação, pode seguir duas grandes aproximações:

- a) Máximo anual: Determina-se o valor máximo da altura da onda para intervalos de um ano.
- b) Altura mínima do temporal: Define-se um valor mínimo ou limite (*threshold*) a partir do qual se segue com as recomendações antes mencionadas e se constrói um subconjunto de dados de temporais.

2.3.2.2. Funções de Distribuição de Probabilidade (FDP's)

Uma vez definido o conjunto de dados, deve-se ajustar o conjunto de dados seleccionados a uma função de distribuição de probabilidade de não excedência.

Não existe uma única função, pelo que a análise deve ser realizada para todas elas, cabendo ao engenheiro usar a que melhor representa os dados. Entre a grande variedade de funções disponíveis, as mais usadas são as apresentadas na Tabela 2.3, que se segue:

Tabela 2.3 Funções de distribuição de probabilidade para análise extrema

Distribuição	Função de Distribuição	Função de Densidade	Campo de Definição		
			x	A	B
Lognormal	$\frac{1}{B\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - A}{B}\right)^2\right] dx$	$\frac{1}{xB\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - A}{B}\right)^2\right]$	> 0	-	> 0
Exponencial	$1 - \exp[-B(x - A)]$	$B \exp[-B(x - A)]$	$\geq A$	-	> 0
Weibull	$1 - \exp\left[-\left(\frac{x - A}{B - A}\right)^C\right]$	$\frac{C}{B - A} \left(\frac{x - A}{B - A}\right)^{C-1} \exp\left[-\left(\frac{x - A}{B - A}\right)^C\right]$	$\geq A$	$> X_{min}$	$> A$
Gumbel (A.I)	$\exp\left\{-\exp\left[-\left(\frac{x - A}{B}\right)\right]\right\}$	$\frac{1}{B} \exp\left\{-\left(\frac{x - A}{B}\right) - \exp\left[-\left(\frac{x - A}{B}\right)\right]\right\}$	-	-	> 0
Frechet (A.II)	$\exp\left[-\left(\frac{x}{B}\right)^C\right]$	$\frac{C}{B} \left(\frac{x}{B}\right)^{C-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{B}\right)^C\right]$	≥ 0	-	> 0

Onde: X representa o evento altura da onda (H_s , $H_{1/10}$ ou H_{max} , segundo os dados de origem); x representa o valor de sucesso e, portanto, F equivale à função de probabilidade de não excedência, sendo A , B e C os parâmetros de posição, escala e forma (a ajustar) e Φ a distribuição típica normal da função.

Liu & Burcharth (1996) propõem o uso das funções de Gumbell (Assíptota I) e Weibull como as que apresentam melhores ajustes. Como já se tinha mencionado, na secção do regime médio, a função Weibull resulta na determinação de três parâmetros e, naquele caso este inconveniente se resolvia, convertendo a função em bi-paramétrica ($A=0$), no presente caso, o problema se resolve dando valores ao parâmetro C que, usualmente correspondem a: $C=0.75$, $C=1.0$, $C=1.4$ e $C=2.0$.

2.3.2.3. Métodos de Ajuste das FDP's

Da mesma forma que no regime médio de ondulação, a determinação dos valores das funções pode-se realizar segundo três aproximações:

- Método dos Momentos Amostrais, em que os valores podem ser determinados a partir de um determinado número de momentos da amostra, como a média, variância ou momentos superiores;
- Método da Máxima Verossimilhança, em que se pretende encontrar valores de A , B e C de forma que a probabilidade de encontrar o valor da amostra seja máxima;

- c) Método Gráfico, em que se pretende ajustar as funções (mediante o uso de variáveis reduzidas) por mínimos quadrados.

2.3.2.4. Frequência de Ponta

Existem três grandes métodos para determinar a probabilidade de não excedência do sucesso extremo (Burcharth, 1994):

- a) Baseados na frequência da amostra;
- b) Baseados na distribuição de frequências;
- c) Baseados nos momentos estatísticos da amostra.

a) Probabilidade de não excedência baseada na frequência da amostra

Também chamada Posição de Pico de Califórnia, basea-se, exclusivamente, na frequência acumulada da amostra, definindo a probabilidade de não excedência como:

$$F(H_s) = 1 - \frac{i}{N}; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Equação 2.23})$$

onde $F(H_s)$ é a probabilidade de não excedência de um dado sucesso, ou seja:

$$F(H_s) = P(H_s \leq H_{s_i}) \quad (\text{Equação 2.24})$$

i representa a ordem na qual se encontra o sucesso H_s , ordenadas de forma descendente, N o tamanho da amostra.

b) Probabilidade de não excedência baseada na distribuição de frequências

Partindo-se do princípio que H_s é uma variável aleatória, com a função de distribuição de probabilidade $F(H_s)$, assume-se que o valor H_{s_i} , que ocupa a posição i numa amostra de N dados, também é uma variável aleatória. Consequentemente, sua função de distribuição de probabilidade de não excedência P_{H_i} é também uma variável aleatória. A filosofia deste método consiste em determinar a frequência da amostra correspondente a H_i através da média, mediana ou moda da variável P_{H_i} . Esta frequência de pico é independente da função de distribuição escolhida.

Weibull (1939) propôs a determinação da frequência de pico (probabilidade de não excedência) a partir da média de $F(H_s)$, isto é:

$$F(H_s) = 1 - \frac{i}{N+1}; i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Equação 2.25})$$

Esta é a aproximação mais usada para o método dos máximos anuais.

Embora não exista uma forma explícita para a aproximação da mediana, Bernard (1943) demonstrou que uma boa aproximação era:

$$F(H_s) \approx 1 - \frac{i-0.3}{N+0.4}; i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Equação 2.26})$$

c) Probabilidade de não excedência baseada em momentos estatísticos

Neste caso, determina-se a probabilidade de não excedência do sucesso H_{si} a partir da média, mediana e moda da variável H_s e, portanto, passa-se a considerar esta como variável aleatória. No entanto, neste caso, as frequências de pico são independentes da função escolhida e não apresentam uma função explícita.

As melhores aproximações conhecidas a partir da média são:

<i>Blom</i>	$F(H_s) = 1 - \frac{i - \frac{3}{8}}{N + \frac{1}{4}}$	<i>para Normal</i>	(Equação 2.27)
-------------	--	--------------------	----------------

<i>Gringorten</i>	$F(H_s) = 1 - \frac{i - 0.44}{N + 0.12}$	<i>para Gumbel</i>	(Equação 2.28)
-------------------	--	--------------------	----------------

<i>Petrauskas</i>	$F(H_s) = 1 - \frac{i - 0.3 - \frac{0.18}{c}}{N + 0.21 + \frac{0.32}{c}}$	<i>para Weibull</i>	(Equação 2.29)
-------------------	---	---------------------	----------------

<i>Goda</i>	$F(H_s) = 1 - \frac{i - 0.2 - \frac{0.27}{\sqrt{c}}}{N + 0.21 + \frac{0.23}{\sqrt{c}}}$	<i>para Weibull</i>	(Equação 2.30)
-------------	---	---------------------	----------------

E podem ser usadas quando o regime extremo realiza-se a partir do método POT (séries parciais).

2.3.2.5. Variável Reduzida da Função

Uma vez determinada a população de temporais e atribuída a sua probabilidade de não excedência (posição de desenho), o passo seguinte é determinar os coeficientes da função de distribuição de probabilidade de não excedência escolhida (A , B e C). Visto

que não existe uma única função, deve-se realizar para todas elas (vêr Tabela 2.3) e escolher-se a que apresente melhor ajuste.

Portanto, trata-se, agora, de realizar o método dos mínimos quadrados para cada uma das funções de probabilidade. A forma mais simples de abordar o problema é trabalhar com a variável reduzida da função, de forma que o que se ajusta, na realidade é uma recta de forma:

$$y = ax + b \quad (\text{Equação 2.31})$$

É importante recordar que a função de Weibull depende de 3 parâmetros A , B e C , portanto, ou se resolve a função na sua forma completa ou se resolve fixando a constante C como: $C=0.75$, $C=1.0$, $C=1.4$ e $C=2.0$.

Função de distribuição lognormal

A função apresenta a seguinte forma:

$$F(x) = \frac{1}{B\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - A}{B}\right)^2} dx \quad (\text{Equação 2.32})$$

Define-se a variável reduzida como:

$$y = \frac{\ln x - A}{B} \quad (\text{Equação 2.33})$$

Igualando as equações 2.32 e 2.33: $t = \ln x$ (Equação 2.34)

E substituindo na equação anterior, obtem-se: $y = \frac{t-A}{B}$ (Equação 2.35)

Deste modo, a probabilidade associada será: $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{2}\right)^2} dy$ (Equação 2.36)

Deste modo, a função de distribuição converte-se em uma recta com o sistema cartesiano em que no eixo das ordenadas tem a variável t e no eixo das abcissas tem y (variável reduzida).

Função de distribuição exponencial

A função apresenta a seguinte forma:

$$F(x) = 1 - e^{-B(x-A)} \quad (\text{Equação 2.37})$$

Tomando a variável reduzida correspondente: $y = B(x - A)$ (Equação 2.38)

A função de distribuição fica como: $F(x) = 1 - e^{-y}$ (Equação 2.39)

E convertendo em uma recta: $y = -\ln(1 - F(x))$ (Equação 2.40)

Ou seja, a função de distribuição converte-se numa recta com o sistema cartesiano em que nas ordenadas aparece o x e nas abcissas o y , variável reduzida ($y = -\ln[1 - F(x)]$).

Função de distribuição Weibull

A função apresenta a seguinte forma:

$$F(x) = 1 - e^{\left(\frac{x-A}{B-A}\right)^C} \quad x \geq A \quad (\text{Equação 2.41})$$

Define-se a variável reduzida como: $y = \left(\frac{x-A}{B-A}\right)^C$ (Equação 2.42)

Fazendo a igualdade: $x' = x - A$ (Equação 2.43)

E substituindo na equação anterior, obtem-se: $y = \left(\frac{x'}{B-A}\right)^C$ (Equação 2.44)

Logaritmizando: $\ln y = C \ln x - C \ln(B - A)$ (Equação 2.45)

Fazendo as substituições: $z = \ln y$; $t = \ln x'$

Chega-se à expressão: $z = Ct - C \ln(B - A)$ (Equação 2.46)

Sendo que: $y = e^z$ (Equação 2.47)

Então, a função de distribuição será: $F(x) = 1 - e^{-y}$ (Equação 2.48)

E, portanto, $z = \ln y = \ln[-\ln(1 - F(x))]$ (Equação 2.49)

Ou seja, a função de distribuição converte-se numa recta em que no eixo das ordenadas tem-se t e no eixo das abcissas y , a variável reduzida ($y = \ln[-\ln(1 - F(x))]$).

Função de distribuição de Gumbell

A função apresenta a seguinte forma:

$$F(x) = e^{-e^{\left(\frac{x-A}{B}\right)}} \quad (\text{Equação 2.50})$$

Define-se a variável reduzida como: $y = \left(\frac{x-A}{B}\right)$ (Equação 2.51)

A probabilidade associada à variável reduzida é: $F(x) = e^{-e^{-y}}$ (Equação 2.52)

E, portanto, $y = -\ln[-\ln(F(x))]$ (Equação 2.53)

Isto é, a função de distribuição converte-se numa recta em que no eixo das ordenadas tem-se x e no eixo das abcissas tem-se a variável reduzida $y = -\ln[-\ln(F(x))]$.

Função de distribuição Fréchet (Assíptota II)

A função apresenta a seguinte forma:

$$F(x) = e^{-e^{\left(\frac{B}{x}\right)^c}} \quad (\text{Equação 2.54})$$

Define-se a variável reduzida como: $y = \left(\frac{B}{x}\right)^c$ (Equação 2.55)

Logaritmizando tem-se: $\ln y = C \ln B - C \ln x$ (Equação 2.56)

E realizando a troca da variável: $\ln y = -z$; $\ln x = t$; $z = Ct - C \ln B$

Pelo que, a função toma a seguinte expressão: $y = e^{-z}$; $F(x) = e^{-y}$ (Equação 2.57)

E, portanto, $z = -\ln[-\ln(F(x))]$ (Equação 2.58)

Então, a função de distribuição converte-se numa recta em que nas ordenadas tem-se t e nas abcissas a variável reduzida $y = -\ln[-\ln(F(x))]$.

2.3.2.6. *Período de Retorno e Altura de Onda de Desenho*

Período de retorno de um sucesso extremo é o tempo médio, em anos, que entre dois temporais cuja intensidade excede um determinado valor de altura de onda.

Visto que o regime extremo permite a distribuição de probabilidades de excedência dos sucessos extremos, ambos (o período de retorno e a função de distribuição) se encontram relacionados, sendo frequente a representação do regime extremo não só com respeito a variável reduzida ou a probabilidade de não excedência, mas também com respeito ao período de retorno do sucesso.

A relação entre o período de retorno T_r e a probabilidade de não excedência $F(H_s)$ é dada pela equação:

$$T_r = \frac{1}{(1-F(H_s))\lambda} \quad (\text{Equação 2.59})$$

Onde: λ é o número médio de temporais por ano e, é definido como:

$$\lambda = \frac{N_t}{N} \quad (\text{Equação 2.60})$$

Sendo: N_t o número de temporais e N o número de anos que cobre a amostra.

No caso de se partir de um regime extremo de máximos anuais, λ toma um valor de 1.

A aplicação mais directa do conceito de período de retorno, encontra-se ao ter que escolher uma acção de desenho (ondulação) à qual, uma determinada estrutura marítima deve resistir. Uma primeira aproximação ao problema de seleccionar este valor de T_r seria igualando-o a vida útil (L) associada à obra, no entanto, se determinar-se a probabilidade de não excedência de um determinado valor de H_s nos N_t temporais registados nos N anos:

$$[F(H_{si})]^{N_t} = \left[1 - \frac{1}{N_t}\right]^{N_t} \approx \frac{1}{e} = 36.89\% \quad (\text{Equação 2.61})$$

Observa-se que existe uma probabilidade muito elevada de que o sucesso ocorra com o consequente risco que representa para a obra. Borgman (1963) propõe o uso do conceito de **risco** para determinar as acções de cálculo, sendo definido como a probabilidade de que pelo menos uma vez exista um temporal maior durante L anos de vida útil do projecto:

$$E = 1 - F(H_s)^L \quad (\text{Equação 2.62})$$

Substituindo os valores ter-se-á que:

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^L \quad (\text{Equação 2.63})$$

Deste modo, sendo definidos valores de risco admissível e vida útil da obra, obtem-se a acção da ondulação do temporal que está associada a um determinado período de retorno.

Ao seguir a metodologia proposta até agora, nota-se que o valor do temporal escolhido corresponde ao da função que melhor se ajusta aos dados. No entanto, isto conduz às várias incógnitas. Em primeiro lugar, deve-se determinar a bondade do ajuste obtido e, em segundo, frequentemente se encontra na parte mais alta da distribuição e, em muitos casos, em condições de não-excedência (altos períodos de retorno) elevadas tendo que se extrapolar os resultados. Neste sentido, uma boa regra prática sobre a fiabilidade da previsão extrema é que apenas são fiáveis os sucessos de altura de onda, cujo período de retorno associado é da ordem de 3 vezes (como máximo) o tempo coberto pela população amostral de partida. Por exemplo, se se parte de uma série de eventos extremos que cobrem um período de 10 anos, em princípio, as estimas serão fiáveis sempre que os períodos de retorno associados aos sucessos não excedam 30 anos (Grácia, 2003).

Como se pode observar, torna-se necessário definir os critérios de bondade dos ajustes, assim como as fontes de incerteza e intervalos de confiança das funções ajustadas.

2.3.2.7. Bondade dos Ajustes

Do grupo de funções existentes, deve-se escolher a que melhor se ajuste. É muito frequente usar-se o coeficiente de correlação linear (ρ de Pearson).

$$\rho = \frac{Cov(x,y)}{\sqrt{Var(x)Var(y)}} \quad (\text{Equação 2.64})$$

No entanto, ρ é definido no domínio linear (y,x) onde a variável reduzida é dependente da função de distribuição, razão pela qual a interpretação deste critério é menos evidente.

Outra forma de avaliar a bondade do ajuste é mediante a estimativa do erro E , obtido pela função, ou seja, as diferenças entre os valores medidos de altura e os valores estimados pela função, em qualquer das suas modalidades.

Obviamente, nesta secção pode-se incluir todo o tipo de testes estatísticos usados para determinar a bondade das funções (a revisão pode se ver em Goda et al.1990).

2.3.2.8. Fontes de Incerteza e Intervalos de Confiança

A definição de uma altura de onda de desenho está associada a uma série de incertezas, basicamente devidas à:

- a) Variabilidade da amostra devido a uma série reduzida de dados de partida;
- b) Erros de medição devidos ao tipo de dados de origem (visuais ou previstos);
- c) Escolha de uma função de distribuição como representante de um comportamento a longo prazo desconhecido;
- d) Variabilidade dos algoritmos de cálculo, no que diz respeito à escolha de um limite de partida ou tipo de ajustamento feito à função;
- e) Alterações climatológicas que invalidam as condições iniciais de definição do sucesso extremo.

Existem diferentes maneiras de determinar os intervalos de confiança de uma função, mas uma das mais usadas (pela simplicidade) é a proposta por Goda (1988). Para isso, é necessário definir o desvio padrão característico como:

$$\sigma_{nor} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1.0 + a(y_r - c + \varepsilon \ln v)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Equação 2.65})$$

Onde: σ_{nor} é o desvio padrão de uma altura de onda com o período de retorno T_r ; N é o número de dados de altura de onda; e a é dada por:

$$a = a_1 e^{a_2 N - 1.3 + k\sqrt{-\ln v}} \quad (\text{Equação 2.66})$$

Onde: a_1 , a_2 , c , k e ε são coeficientes empíricos (vêr Tabela 2.4) e u é o parâmetro sensor, definido como:

$$u = \frac{N}{N_t} \quad (\text{Equação 2.67})$$

Sendo: N_t o número de temporais sobre o limite inicial, sendo y_r a variável reduzida definida para as funções Fisher-Tippet tipo I e Weibull, como:

$$y_r = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{\lambda T_r} \right) \right] \quad FT - I \quad (\text{Equação 2.68})$$

$$y_r = [\ln \lambda T_r]^{\frac{1}{k}} \quad Weibull \quad (\text{Equação 2.69})$$

Onde: T_r é o período de retorno (em anos), k é o comprimento do registro (em anos), e λ é o número médio de temporais por ano.

Finalmente, o valor absoluto do desvio padrão para um sucesso é definido como:

$$\sigma_r = \sigma_{nor} \sigma_{H_s} \quad (\text{Equação 2.70})$$

Sendo: σ_{H_s} o desvio típico de alturas de onda extremas.

Tabela 2.4. Coeficientes da fórmula empírica de desvio padrão para altura significativa extrema (Goda 1988)

Distribuição	a_1	a_2	k	c	ε
FT-I	0.64	9.0	0.93	0.00	1.33
Weibull (k=0.75)	1.65	11.4	-0.63	0.00	1.15
Weibull (k=1.0)	1.92	11.4	0.00	0.3	0.90
Weibull (k=1.4)	2.05	11.4	0.69	0.4	0.72
Weibull (k=2.0)	2.24	11.4	1.34	0.5	0.54

Os intervalos de confiança são calculados assumindo que a altura da onda significativa, para qualquer período de retorno, encontra-se normalmente distribuída na função de distribuição de probabilidade escolhida (vêr Tabela 2.5).

Tabela 2.5 Intervalos de confiança para altura significativa extrema

Nível de Confiança (%)	Intervalos de Confiança a volta de H_{sr}	Probabilidade de Excedência acima do Intervalo (%)
80	$\pm 1.28\sigma_r$	10.0
85	$\pm 1.44\sigma_r$	7.5
90	$\pm 1.65\sigma_r$	5.0
95	$\pm 1.96\sigma_r$	2.5
99	$\pm 2.58\sigma_r$	0.5

2.3.2.9. Método dos Máximos Anuais

Esta secção é uma recapitulação de tudo que foi visto até agora, podendo constituir um guia para elaborar um regime extremo de ondulação, mediante os máximos anuais e aplicando os mínimos quadrados para determinar os coeficientes das funções a ajustar.

Partindo-se de um conjunto de observações (previamente reduzidas a um único valor de H_s), cobrindo um certo período, determinadas as alturas de onda máximas para o período em causa, os passos a seguir para o cálculo, são:

- Colocar em ordem decrescente os registos de H_s , atribuindo-lhes um número de ordem i de forma crescente;
- Determinar a probabilidade de não excedência do sucesso H_s , segundo a ordem que ocupa, mediante a equação:

$$F(H_s) = 1 - \frac{i}{N+1} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Equação 2.71})$$

Onde: i é o número de ordem que ocupa o sucesso e N equivale ao número de anos registados;

- Ajustar às distintas funções de probabilidade.

2.3.2.10. Coeficientes de Direccionalidade

Como já se tinha mencionado, a ondulação é definida pela altura de onda, período e direcção. As aproximações vistas até agora tratam da ondulação na sua forma escalar.

A inclusão da direcção na análise extrema pode abordar-se de maneiras muito distintas, segundo o tipo de informação disponível a priori.

No caso de se dispor da informação completa do sucesso extremo, a aproximação mais comum é determinar as distribuições de probabilidade condicionadas a cada uma das direcções (divididas em sectores) observadas e, logo, determinar a probabilidade absoluta de um determinado sucesso (altura e direcção) como simples produto entre a probabilidade escalar nessa direcção e a probabilidade de ocorrência do sector (similar ao clima médio), quer dizer:

$$P(H_i \leq H; \text{sector}) = P(H_i \leq H / \text{sector}) * P(\text{sector}) \quad (\text{Equação 2.72})$$

Muitas vezes, este tipo de aproximação não é possível visto que a população de dados sobre a qual tem que se realizar a análise é muitíssimo reduzida.

Uma solução para este problema é determinar a direccionalidade do sucesso a partir das distribuições de probabilidades obtidas no clima médio. A forma mais aceite de determinar os coeficientes de direccionalidade ($K\alpha$) é a proposta pela ROM 03.91:

- a) Determinar o clima médio direccional;
- b) Para cada uma das direcções efectivas, encontradas na secção anterior, obter a altura de onda com uma probabilidade de não excedência de $P=0.99$ e $P=0.999$ ($H_{P=0.99}$ e $H_{P=0.999}$);

- c) Calcular a média das alturas de onda encontradas:

$$H_{\text{direcção}} = (H_{P=0.99} + H_{P=0.999}) \times 0.5 \quad (\text{Equação 2.73})$$

- d) Definir o coeficiente de direccionalidade $K\alpha$ para cada direcção sendo a relação entre o valor médio encontrado para cada direcção e o valor máximo encontrado:

$$K\alpha = (H_{\text{direcção}}) / (H_{\text{direcção}})_{\text{max}} \quad (\text{Equação 2.74})$$

3. Descrição da Área em Estudo

3.1. Características Físicas da Baía de Maputo

3.1.1. Localização

A Baía de Maputo está localizada no sul de Moçambique entre as latitudes $25^{\circ}40'S$ e $26^{\circ}20'S$ e longitudes $32^{\circ}40'E$ e $33^{\circ}00'E$, tendo uma largura de cerca de 20 milhas marítimas e uma abertura a nordeste para o Oceano Índico, aproximadamente, com as mesmas dimensões. Como se pode observar na Figura 3.1, é delimitada: a norte pela desembocadura do rio Incomati e pela península da Macaneta, a leste pelas ilhas de Inhaca e dos Elefantes e pela península de Machangulo. No seu limite sul tem a desembocadura do rio Maputo, no limite norte da Reserva dos Elefantes de Maputo e pela Catembe e, a oeste pelo Estuário de Espírito Santo formado pelos rios Umbeluzi, Matola e Tembe, Infulene e a pela cidade de Maputo.



Figura 3.1 Localização e delimitação da baía de Maputo

(Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Baia_de_Maputo, 13 de Maio de 2011)

3.1.2. Clima

Esta região apresenta um clima subtropical junto à costa, apresentando duas estações: uma seca e fria, que se pode designar por inverno e ocorre entre os meses de Abril e Outubro e, outra quente e chuvosa (verão) que vai de Outubro a Março, existindo perigo de ocorrência de cheias.

As chuvas muitas vezes são prolongadas, devido à influência do centro de altas pressões no Índico e a convergência intertropical na zona do Transvaal.

3.1.3. Principais Cidades e a sua Demografia

A Baía de Maputo abrange, essencialmente, duas cidades: Maputo e Matola. A cidade de Maputo constitui um município com um governo eleito e tem também, desde 1980, um estatuto de província.

O município tem uma área de 346.77 km² e uma população de 1 094 915 habitantes (INE, 2007), tendo registado no período de 1997-2007 um crescimento populacional de 13.2%. A sua área metropolitana que inclui o município da Matola, tem uma população de 1 766 823 habitantes (INE, 2007).

3.2. Aspectos Sócio – Económicos da Baía de Maputo

A Baía de Maputo é de extrema importância para o desenvolvimento sócio-económico da região e, consequentemente, do país por ser palco de intensas actividades ligadas às áreas de comércio, transportes e comunicações, indústria e turismo (vêr Figura 3.2).

Esta é uma região de intensas actividades pesqueiras e lúdico-turísticas, dada a sua enorme diversidade de paisagens, como é o caso da Ilha de Inhaca, que possui uma antiga Estação de Biologia Marinha, entre outros.



Figura 3.2 a) Actividade pesqueira; b) Actividade portuária, respectivamente

(Fonte: Google imagens, 18 de Maio de 2011)

Entre as diversas infra-estruturas existentes na região, como é o caso de estruturas de protecção costeiras da Costa do Sol, Clube Naval de Maputo, Estação de Ferryboat Maputo-Catembe (vêr Figura 3.3. a)), destaca-se o Porto de Maputo (ver Figura 3.3. b)), junto às cidades de Maputo e Matola, com terminais de contentores, carga em geral e combustíveis, que durante muitos anos foi o principal ponto de escoamento de minérios e outras exportações da África do Sul e da Swazilândia, acabando por perder grande parte da sua importância após a construção do porto Richards Bay, no norte da província sul- africana de KwaZulu- Natal.

Está prevista, para este quinquénio, a construção de uma ponte sobre a baía de Maputo, ligando a baixa da cidade e o distrito municipal da kaTembe, bem como da estrada para a Ponta de Ouro, o que permitirá um desenvolvimento nos transportes e comunicação da região.

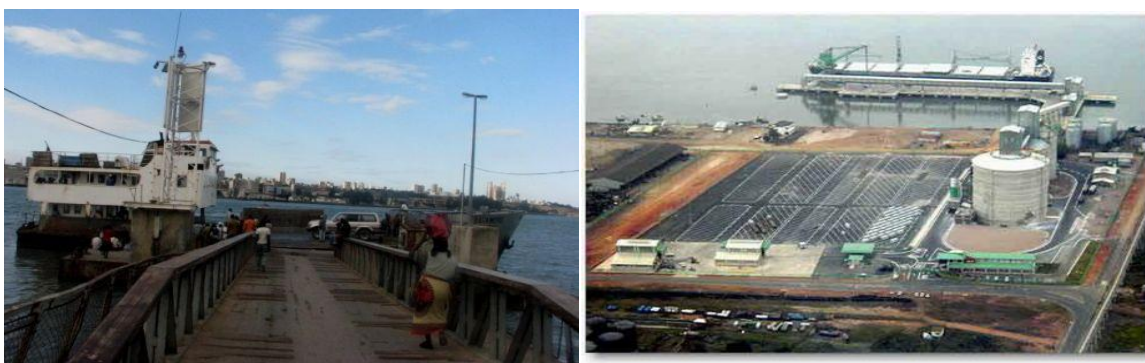


Figura 3.3 a) Estação de ferryboat Maputo-Catembe; b) Porto de Maputo, respectivamente

(Fonte: Google imagens, 18 de Maio de 2011)

3.3. Principais Entidades Ligadas à Área Marítima no País

As principais entidades, no país e na área em estudo (cidades de Maputo e Matola), que podem servir de fontes de informação para o presente estudo são apresentadas neste ponto, destacando-se as que pertencem ao Ministério de Transportes e Comunicação, Conselhos Municipais, entre outros.

- Instituto Nacional de Hidrografia e Navegação (INAHINA) que se dedica a apoiar a navegação, encontrando-se dividido em quatro departamentos, nomeadamente: Departamento de Hidrografia, Departamento de Ajudas à Navegação, Departamento de Manutenção e Trem Naval e, Departamento de Oceanografia, que engloba as

secções de: Marés e Correntes, Processos Costeiros e o Centro Nacional de Dados Oceanográficos (CENADO);

- Instituto Nacional da Marinha (INAMAR) que está ligado à segurança marítima, no que diz respeito ao auxílio de navios em casos de naufrágios, acidentes e orientação e, controlo de obras portuárias (verificação das condições de segurança);
- Instituto Nacional de Mar e Fronteiras (IMAF) que se dedica a delimitação de fronteiras marítimas e da plataforma continental;
- Conselhos Municipais das Cidades de Maputo e Matola que também são responsáveis pelas infra-estruturas e os respectivos projectos, que se encontram ao longo da baía de Maputo;
- Porto de Maputo, concessionado à MPDC;
- Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM) que gerem os sistemas ferroviário e portuário moçambicanos.

4. Análise dos Dados de Ondulação na Baía de Maputo

4.1. Fontes de Dados de Agitação para a Baía de Maputo

Para o estudo das condições de agitação marítima na Baía de Maputo recorreu-se às diversas entidades locais que pudessem dispor de dados de agitação, como é o caso do INAHINA e INAMAR. Após a pesquisa nas instituições citadas, constatou-se que o Estado Moçambicano não possui bóias ondógrafo na Baía de Maputo. No entanto, foi possível constatar que o INAHINA auxilia na leitura e gestão de duas bóias ondógrafo, pertencentes ao projecto ARGOS¹, que se encontram posicionadas em Inhambane e Cabo Delgado, mais concretamente, em Pemba.

Efectuou-se uma pesquisa de dados em fóruns ligados à Engenharia Marítima e tomou-se conhecimento que:

- O Centro Europeu de Previsão de Tempo a Médio Prazo (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) possui um produto denominado *ERA-40* que faz uma reanálise global das condições atmosféricas e oceanográficas, incluindo condições de agitação (altura de onda significativa, período, direcção, entre outros), com dados entre 1957 e 2001;
- Existem registos de dados visuais de ondas e ventos num farol próximo a Ilha de Moçambique;
- No Porto de Durban existem bóias cujos dados, que são geridos pelo Conselho de Pesquisa Científica e Industrial (*Council for Scientific and Industrial Research-CSIR*), podem ser usados para o sul de Moçambique;
- Existe o *NOAA Wave Watch III program (NWW3)* que gera um conjunto de dados globais de ondas, que resultam numa retro-análise e que cobrem África num período de 1997 a 2010, de 3 em 3 horas e com uma resolução de 1.25° de longitude x 1.0° de latitude.

Após a pesquisa efectuada, optou-se pelo uso dos dados procedentes do modelo numérico *NWW3*, por serem gratuitos, o que não acontece com os dados do projecto

¹ O projecto ARGOS consiste em um programa para a observação oceânica à escala global.

ARGOS e, pelo acesso directo através da *internet*, diferentemente dos dados das bóias de Durban e do *ERA-40*, que acarretam um processo moroso para a sua aquisição.

4.1.1. Descrição do Modelo NWW3

As previsões de ondas oceânicas do *National Oceanographic and Atmospheric Administration / National Centers for Environmental Prediction (NOAA/NCEP)* baseiam-se na versão 2.22 do modelo *Wave Watch III*, tendo como parâmetros de entrada os produtos do NCEP.

O modelo NWW3 corre quatro vezes ao dia. Cada execução começa com 6 horas de reanálise para assegurar a continuidade da ondulação. Na tabela 4.1, encontra-se informação adicional sobre o modelo. As quatro fases correspondem, respectivamente, à: fase global, fase de propagação da onda mais longa, fase de refração e, fase do termo fonte mínimo.

Tabela 4.1 Informação adicional sobre o modelo NWW3

Modelo	Tipo	Cobertura e Resolução (long., lat.)	Profundidade Mínima (m)	Fases (s)
NWW3	global	77°S - 77°N 1.25°x 1.0°	25	3600 1300 3600 300

a) Parâmetros de entrada

Os parâmetros de entrada considerados por este modelo são:

- Ventos do Projecto de Assimilação de Dados Globais (*Global Data Assimilation Scheme-GDAS*) e o ciclo de aviação do modelo de Previsão de Médio Alcance. Este sistema de previsão ou análise é, agora, denominado por Sistema de Previsão Global (*Global Forecast System-GFS*). Os ventos são convertidos para 10m de altura, assumindo estabilidade neutra. Os campos de vento estão disponíveis em intervalos de 3h (usando análises e previsões de 3h na parte de reanálise de execução do modelo de ondulação);
- Concentrações de gelo obtidas da análise da concentração de microondas passivas do gelo do mar e são actualizadas diariamente;

- Temperaturas da superfície do mar, conforme necessário na correcção da estabilidade para o crescimento de onda, retiradas do *GDAS*.

b) Parâmetros de Saída

- Mapas de alturas de onda significativas, períodos de pico e velocidades do vento;
- Termos de origem e espectrais apresentados para locais de saída seleccionados em forma de gráficos polares;
- Ficheiros *GRIB* que dispõem de parâmetros médios de onda;
- Dados espectrais comprimidos em ficheiros *ASCII*, que contêm dados ambientais e o espectro completo bi-dimensional;
- Boletins espectrais.

O NWW3 é considerado o estado-de-arte em simulações operacionais de ondas geradas pelo vento em águas profundas. Entre os processos físicos, estão as iterações não-lineares quádruplas, necessárias para descrever apropriadamente a evolução do espectro em águas com profundidade acima de 100 m. Uma descrição completa sobre o modelo pode ser obtida em Tolman (2002).

4.2. Selecção da Amostra

O modelo dá resultados para todo o mundo. O domínio foi representado por uma malha com espaçamento de $1.25^{\circ} \times 1.00^{\circ}$ (aproximadamente 138.75km x 111km) de longitude e latitude, respectivamente. Sendo assim, descarregou-se o ficheiro de dados globais, no computador, e usou-se o programa *National Digital Forecast Database GRIB (NDFD GRIB)* que permitiu tirar os resultados do ponto mais próximo ao ponto indicado (de interesse).

Sendo assim, na Figura 4.1, apresenta-se a localização do ponto indicado e do ponto da malha (o mais próximo ao indicado). As coordenadas do ponto indicado são: 28.75° de longitude e -26° de latitude e, o ponto mais próximo encontra-se na malha 233 do *GRIB Identification*.

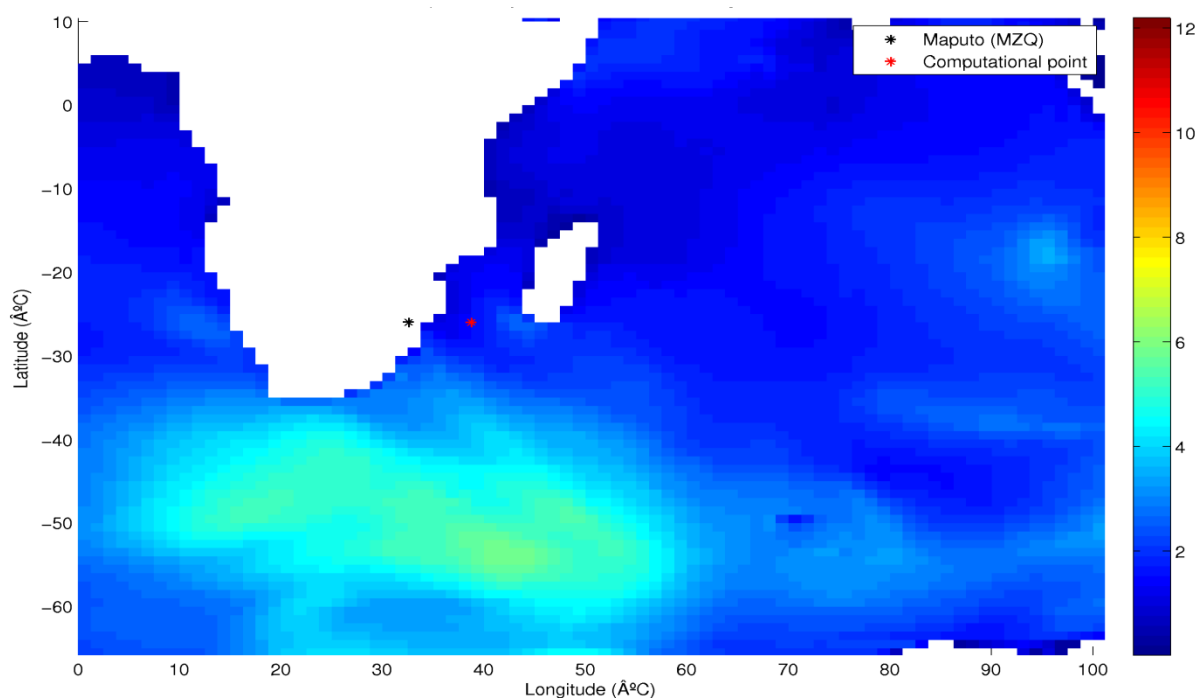


Figura 4.1 Localização do ponto do modelo usado no estudo.

4.3. Tratamento e Processamento dos Dados de Ondulação

4.3.1. Análise do Clima Médio

A análise do clima médio corresponde ao estudo estatístico e probabilístico, com base nos dados existentes. Esta análise foi feita com o auxílio de programas simples, elaborados em Matlab (usando os ficheiros no formato *txt*² para a saída dos resultados) e os resultados foram processados com o uso da folha do *Microsoft Excel*.

Primeiro, procurou-se verificar se existia uma certa tendência, nos dados, para existência dum verão marítimo (meses menos energéticos) e de um inverno marítimo (meses mais energéticos) e se estes coincidiam com as correspondentes estações do ano. Para tal, adoptou-se o procedimento seguinte:

² O formato "*fichero.txt*" foi o formato usado para se guardar os ficheiros de dados adquiridos no site do NOAA.

- Representação de uma CEM para um ano aleatório, 2004;
- Cálculo e a representação gráfica das médias mensais de H_s e das médias dos máximos mensais de H_s para o período de 1998-2010.

a) Clima de Ondulação

A análise foi feita considerando o verão e o inverno, nos períodos: 1998-2010 (que corresponde a toda amostra), 1999-2000 e 2004-2005 (anos escolhidos aleatoriamente).

As probabilidades de ocorrência foram determinadas para os parâmetros: altura de onda significativa e período de pico da onda. No caso das alturas de onda significativas adoptaram-se, para o cálculo, ramos com intervalos de 0.5m. E para os períodos de pico, ramos de 2s.

Os resultados encontram-se representados em forma de tabelas e histogramas acumulados. Estes são apresentados e discutidos no Capítulo 5 e nos respectivos anexos complementares, que serão devidamente identificados no capítulo referido.

b) Rosas de Ondulação

As rosas de ondulação foram feitas para os períodos de verão e inverno dos anos de 1998-2010, 1999-2000 e 2004-2005.

Os dados do modelo *NWW3*, no que diz respeito às direcções, consideram a origem (0°) no Norte e a contagem dos ângulos no sentido horário (convenção da Engenharia Marítima).

O cálculo e a representação das probabilidades de ocorrência de certas alturas de onda significativas com certas direcções, foram executados através do programa *Wind-Rose* criado em *Matlab*.

c) Tabelas de Contingência

As probabilidades de se verificarem certas alturas de onda, com certos períodos de pico, foram calculadas para o verão e o inverno dos períodos de 1998-2010, 1999-2000 e 2004-2005.

Os resultados encontram-se no Capítulo 5 e nos anexos sob a forma de tabelas (cruzadas) e de gráficos (como forma de sintetizar).

4.3.2. Análise do Clima Extremo

A análise do clima extremo consistiu, basicamente, em três etapas:

c) Identificar os temporais, tendo se obtido, entre outros, os seguintes parâmetros:

- Número de temporais existentes na amostra (1998-2010);
- Duração média dos temporais;
- Altura de onda significativa média de cada temporal;
- Período de pico médio de cada temporal;
- Altura de onda significativa máxima de cada temporal;
- Direcção média de cada temporal.

d) Identificar os máximos independentes, que depende da duração mínima entre cada temporal;

e) Procurar a função de distribuição de probabilidades que melhor se ajustava à série de alturas de onda significativas máximas dos temporais independentes.

Nas primeiras duas etapas, que correspondem à selecção da amostra (dos extremos) ou análise dos dados disponíveis, recorreu-se ao programa *AnaTorBo*. A última etapa, que consiste na análise extrema (ou extrapolação), fez-se com auxílio do programa *Stones*.

Com os temporais encontrados através do programa *AnaTorBo* fez-se uma breve análise do número de temporais verificados em cada ano da amostra, do número de temporais verificados em cada mês da amostra e das durações: mínima, média e máxima dos temporais.

Em seguida, será apresentada a descrição geral e as considerações tomadas em cada um dos programas usados para o estudo do clima extremo.

4.3.2.1. Programa AnaTorBo

O programa AnaTorBo é um programa para a análise de temporais, desenvolvido no LIM/ UPC, por Jesús Gómez, entre os anos de 1999 e 2004.

Para seleccionar um temporal, o programa emprega os critérios abaixo detalhados (Herreras 2002).

- Altura mínima significativa: é o valor a partir do qual se considera que existe um temporal. É a altura limite (H_0) que se fixou como 4m, que corresponde à aproximadamente duas vezes a altura média.
- Intervalo de tempo máximo sem dados (horas): este valor se usa para que a análise do temporal se possa fazer embora falte algum dado. O intervalo indica a duração máxima dum período sem dados, para se considerar que o temporal não tenha acabado, isto é, se o número de horas durante as quais não há dados na série é estritamente maior que este limite, considera-se que o temporal termina antes da falha de dados. Caso contrário, considera-se que é o mesmo temporal.

Nesta tese, considerou-se um intervalo máximo sem dados de 6 horas, apesar da série não apresentar falhas, visto que é resultado de simulação numérica.

- Intervalo de tempo máximo abaixo da altura de onda limite (horas): num temporal, nem todas as ondas são iguais, nem todas superam a altura limite estabelecida. Existe um intervalo de tempo em que o valor da altura de onda da série está abaixo da altura limite que define o temporal, isso não significa que o temporal tenha acabado desde que, logo, a altura de onda volte a superar o limite. O uso deste parâmetro pode tornar possível que a altura de onda média do temporal seja inferior à altura de onda limite.

No presente trabalho, considerou-se um intervalo máximo de 6 horas. Quer dizer, se durante 6 horas ou menos a altura de onda da série é inferior à altura

de limite, o temporal não se considerava finalizado.

- Duração mínima do temporal (horas): só se têm em conta os temporais com uma duração maior ou igual à um valor limite, que se considerou de 6 horas. Todo o temporal cuja a duração fosse inferior à este valor não se considerou na análise.
- Intervalo entre temporais (dias): este item é útil na extracção dos máximos independentes, para a análise do clima extremo. Nesta tese, considerou-se o intervalo de 7 dias (duração máxima, encontrada na série de temporais majorada).

Para a selecção dos máximos independentes fez-se uma análise de sensibilidade considerando, também, os intervalos entre temporais de 4 e 10 dias e, como foi referido, para prosseguir com a análise extrema, optou-se pelo valor de 7 dias, pois para além da razão referida, é um valor intermédio e encontrou-se um número intermédio de extremos.

4.3.2.2. Programa Estones

O objectivo deste subcapítulo é explicar com mais detalhe como se trabalha com o programa concebido em *Fortran Stones.for*, os arquivos de entrada de dados e de saída de resultados.

a) Ficheiros de entrada de dados

O programa tem várias possibilidades, no que diz respeito a: funções de distribuição, métodos de ajuste, *plotting position* e intervalo de confiança:

- Em primeiro lugar, se introduz o tipo de função de distribuição a usar, que pode ser qualquer das apresentadas no sub-capítulo 2.3.2.2: Weibull, Gumbel ou Frechet e, também outras mas que não foram consideradas nesta tese. Há que ajustar os parâmetros das funções e para isso o programa dá a opção de ajustar o valor de algum dos parâmetros ou de não fixar nenhum e deixar que o programa optimize os 2 ou 3 parâmetros existentes, segundo a função. A opção usada foi a última.

- Quanto ao método de ajuste, escolhe-se entre os explicados no subcapítulo 2.3.2.3: método dos momentos, máxima verosimilhança e mínimos quadrados.

Com as funções de distribuição, pode-se atribuir um período de retorno à uma dada altura de onda e vice-versa. Assim, há que introduzir, no programa, os períodos de retorno para os quais se deseja estimar a altura de onda associada e, as alturas de onda para as quais se deseja o período de retorno. No primeiro caso, os períodos (em anos) para os quais fez-se a extrapolação foram: 5, 7, 10, 15, 25, 50, 100, 200 e 500 (apesar de se exceder os 3 vezes o período da amostra, que é o limite para que os valores se considerem válidos). Tanto para as alturas de onda, como para o período de retorno especifica-se a confiança desejada para o intervalo de confiança. A confiança utilizada foi de 90%, que é a usual nesta área. Também se escolhe o método para obter o intervalo de confiança, dando a possibilidade de não procurar neste intervalo.

Quanto aos dados da amostra, o programa necessita da seguinte informação:

- O número de dados da série de temporais (para $H_{\text{slimite}} = 4\text{m}$ e $H_{\text{slimite}} = 4.5\text{m}$);
- A duração do registo (em anos), descontando o período sem dados;
- As alturas de onda limite definidas;
- Os máximos independentes extraídos dos temporais para cada altura limite.

O critério de bondade de ajuste que o programa usa é o de Kolmogorov- Smirnov, com o qual se comparam os diferentes ajustes e permite escolher entre eles. Tem que se introduzir, no programa, o nível de significância desejado.

Por último, tem que se completar uma informação complementar, no caso de efectuarem-se os ajustes pelo método dos mínimos quadrados, escolhe-se qual a expressão a usar. Primeiro se escolhe o tipo de correlação desejada. Nesta tese, fez-se para todas as expressões.

b) Arquivo de resultados

Executado o programa, criam-se três ficheiros de resultados.

No primeiro ficheiro armazenam-se alguns resultados numéricos, como: alturas de onda tratadas, a média e o desvio padrão dos dados. Também se encontra, neste ficheiro, uma série de dados sobre o teste de bondade do ajuste de Kolmogorov-

Smirnov (K-S) como: a máxima diferença entre a função de distribuição real e o histograma empírico; a significância limite, tal que se o teste se faz com uma significância menor se aceita e se é maior se rejeita, ou seja, a máxima significância para a qual se aceita o ajuste; e por último, a verosimilhança do teste. No caso em que se rejeita o ajuste, escrevem-se os dados que causam esta rejeição. Quando se ajusta mediante os mínimos quadrados, escreve-se, também, o coeficiente de correlação.

Outros dados que se armazenam, neste ficheiro, são os parâmetros das distribuições que o programa ajustou, otimizando os 2 ou 3 parâmetros, segundo o caso.

O ficheiro também possui as estimativas das alturas de onda para os períodos de retorno dados, as estimativas dos períodos para as alturas de onda dadas e por último, apresenta alguns resultados numéricos dos intervalos de confiança.

O segundo ficheiro de resultados contém a informação do gráfico com os valores das alturas de onda e dos períodos de retorno da função empírica, das funções de distribuição, das observações e dos intervalos designados pelo teste K-S, tanto o superior como o inferior, neste caso com uma significância de 10%, assim como os intervalos de confiança para as alturas de onda, neste caso com a significância de 90%.

No terceiro e último ficheiro, encontram-se os intervalos de confiança para os períodos de retorno.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

5.1. Clima Médio

Conforme foi exposto no Capítulo 4, fez-se uma análise geral dos dados da amostra, em que se verificou que:

- As alturas significativas, média e máxima, são 2.47m e 7.07m, respectivamente;
- Os períodos de pico médio e máximo são, respectivamente, 10.3s e 19.5s;
- A direcção média é de 171.02° , notando-se a predominância de ondas vindas de sul (entre 100° e 225°N).

Da análise resultou, também, a CEM para o ano aleatório de 2004 (vêr Figura 5.1), as médias mensais e as médias dos máximos mensais de H_s para o período de 1998-2010, como se pode observar na Tabela 5.1 e na Figura 5.2.

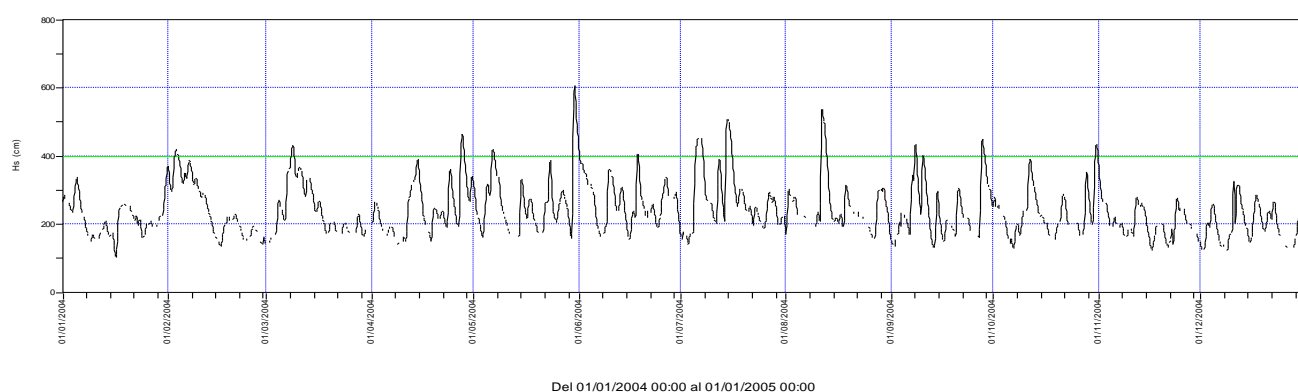


Figura 5.1 Curvas de estados de mar para o ano de 2004.

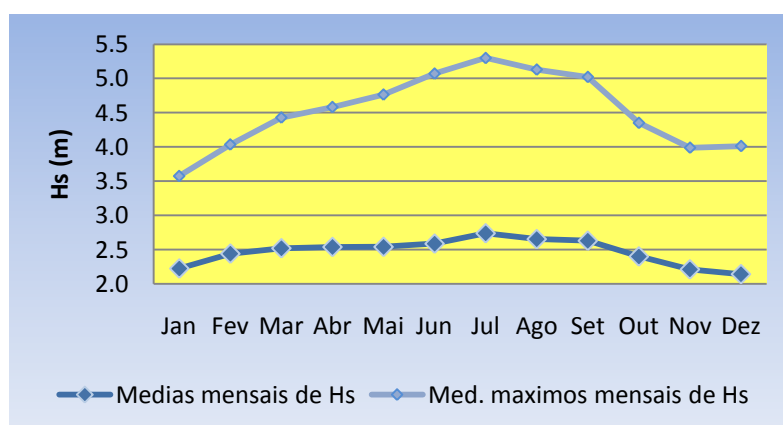


Figura 5.2 Gráficos das médias mensais de H_s e médias dos máximos mensais de H_s (1998-2010).

Tabela 5.1 Médias mensais de H_s e médias dos máximos mensais de H_s (1998-2010)

Mês	Méd. H_s (m)	Méd. Máxs H_s (m)
Janeiro	2.22	3.58
Fevereiro	2.44	4.03
Março	2.52	4.42
Abril	2.54	4.58
Maio	2.54	4.77
Junho	2.59	5.07
Julho	2.74	5.30
Agosto	2.65	5.13
Setembro	2.63	5.02
Outubro	2.40	4.35
Novembro	2.21	3.99
Dezembro	2.14	4.01
Média	2.47	4.52

É possível observar que há uma certa tendência entre os meses de Abril e Outubro para se verificarem maiores alturas de onda significativas. Pelo que, pode-se assumir que nesta região, existe uma estação mais energética, que coincide com o inverno (Abril-Setembro), a qual se pode designar por inverno marítimo e, uma menos energética (Outubro-Março) que corresponde ao verão.

5.1.1. Clima de Ondulação

Neste sub-capítulo serão apresentados, a título de exemplo, apenas os histogramas de distribuição de H_s e T_p para os períodos de 1998-2010 e, verão e inverno do mesmo período. As tabelas e os histogramas para os outros períodos analisados, encontram-se no Anexo 2.

Como se pode vêr na Figura 5.3, analisando todo o período da amostra, no que diz respeito à altura significativa verifica-se maior probabilidade de ocorrência de ondas com $H_s = [2 - 2.5]$ m, correspondendo à 30% e que há 75% de ondas com $H_s = [1.5 - 3]$ m; quanto aos períodos de pico, 26% das ondas têm $T_p = [8 - 10]$ s e 73% possuem probabilidade de ocorrência com $T_p = [8 - 14]$ s.

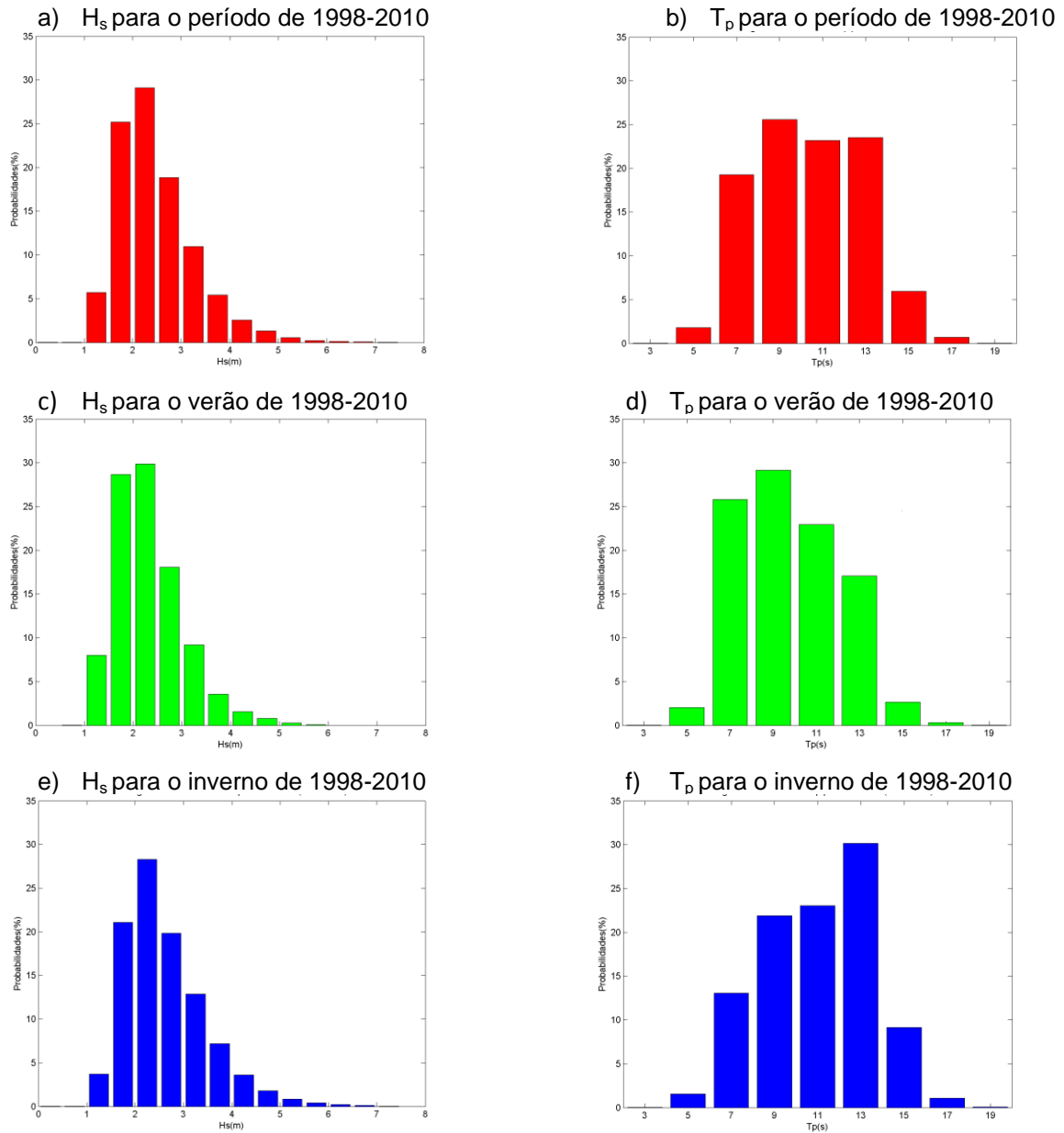


Figura 5.3 Histogramas de distribuição de H_s e T_p .

Nos histogramas apresentados, de acordo com as estações do ano, constata-se que no Inverno há maior probabilidade de encontrar maiores alturas de onda significativas, $H_s > 2.5m$ do que no Verão. Nota-se, também, que no Verão as ondas apresentam menores períodos de pico, havendo maior probabilidade de ocorrerem ondas com $T_p =]8 - 10]s$, o que não acontece no Inverno, em que há maior tendência para a ocorrência de ondas com $T_p > 10s$.

5.1.2. Rosas de Ondulação

Neste subcapítulo apresentam-se, somente, as rosas de ondulação para os períodos de 1998-2010 e, verão e inverno do mesmo período. As rosas de ondulação para os restantes períodos analisados encontram-se no Anexo 2.

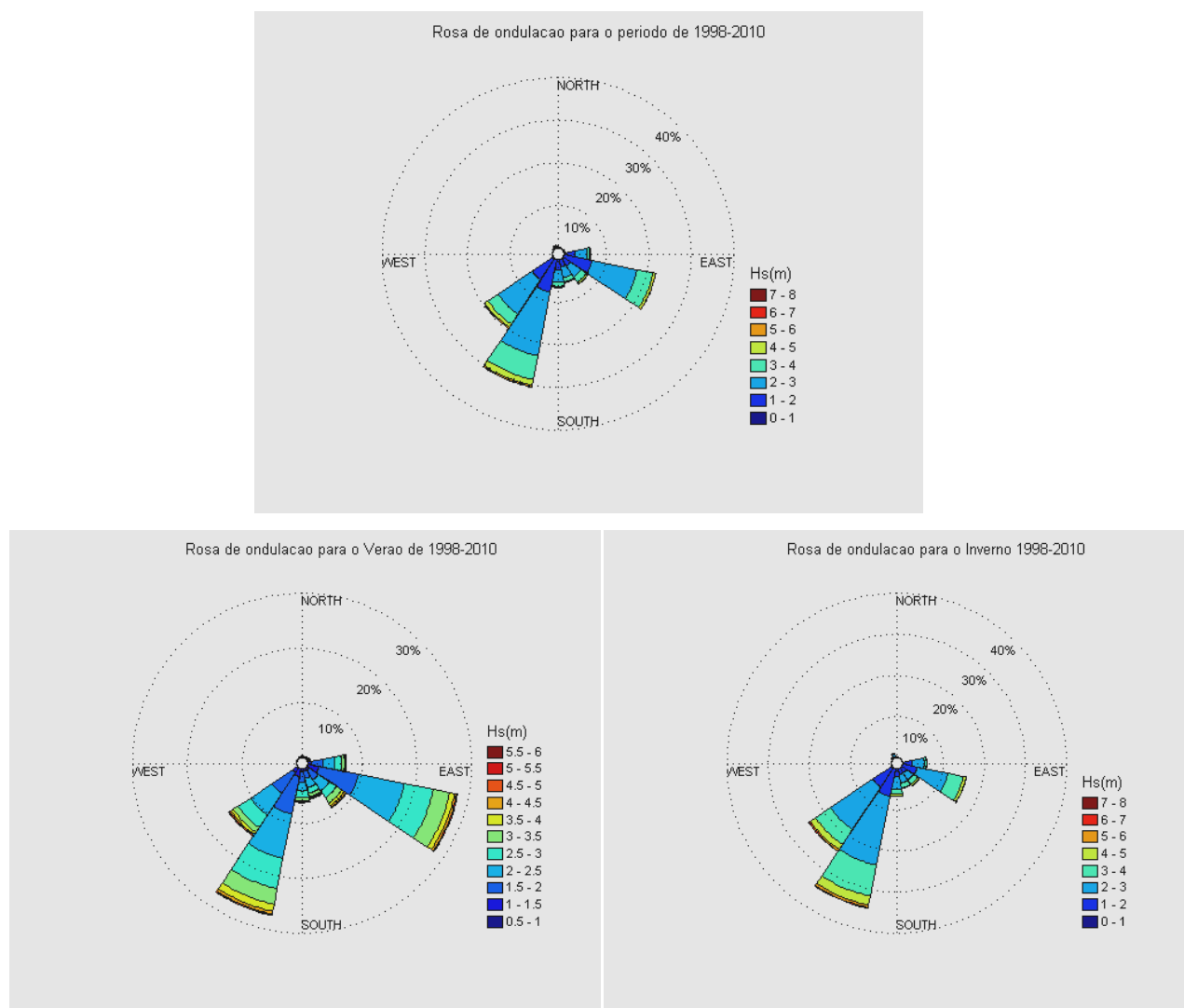


Figura 5.4 Rosas de ondulação

No período de 1998-2010, verifica-se maior probabilidade (cerca de 30%) de ocorrência de ondas provenientes do Sul-Sudoeste, com aproximadamente 200°N e, com predominância de alturas significativas entre 2 a 3m. Verifica-se, também, a incidência de ondas vindas do Este-Sudeste, com cerca de 110°N e, probabilidade de ocorrência de 22% possuindo, na sua maioria, alturas significativas compreendidas entre 2 a 3m.

O verão é caracterizado por uma maior incidência de ondas provenientes do Sudeste (aproximadamente 110°N) em relação ao Inverno. As ondas vindas do Este-Sudeste

correspondem a aproximadamente 28%. Verificam-se, também, ondas do Sul-Sudoeste (cerca de 200°N) com 27% de ocorrência. Em ambas direcções, a maioria das ondas verificadas possui $H_s =]1.5-2.5]$ m.

No inverno as ondas registadas são predominantemente do Sul-Sudoeste e Sudoeste, correspondendo a, aproximadamente, 60%. Nota-se maior incidência (cerca de 30%) de ondas com alturas significativas entre 2 a 3 m.

5.1.3. Tabelas de Contingência

Em seguida, serão apresentadas as tabelas de contingência ($T_p - H_s$) para os períodos de 1998-2010 e, verão e inverno do mesmo período (ver Tabela 5.2). A representação gráfica das tabelas apresentadas neste sub-capítulo, das tabelas dos outros períodos analisados, bem como as respectivas tabelas, encontra-se no Anexo 2.

Tabela 5.2 Tabelas de contingência $T_p - H_s$

Anos 1998-2010		$T_p(s)$								
		[2- 4]	[4 - 6]	[6- 8]	[8 - 10]	[10- 12]	[12 - 14]	[14 - 16]	[16- 18]	[18 - 20]
$H_s(m)$	[0 - 0.5]	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[0.5 - 1]	0.003	0.018	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[1 - 1.5]	0.008	0.208	1.559	1.777	1.564	0.574	0.026	0.000	0.000
	[1.5 - 2]	0.003	0.761	5.950	0.026	7.200	4.634	0.742	0.084	0.011
	[2 - 2.5]	0.000	0.653	6.266	6.458	6.479	7.632	1.490	0.137	0.024
	[2.5 - 3]	0.000	0.116	3.420	4.939	3.617	5.018	1.524	0.190	0.003
	[3 - 3.5]	0.000	0.008	1.569	3.599	2.082	2.683	0.869	0.132	0.005
	[3.5 - 4]	0.000	0.000	0.387	1.745	1.156	1.509	0.563	0.055	0.000
	[4 - 4.5]	0.000	0.000	0.097	0.861	0.542	0.703	0.313	0.037	0.000
	[4.5 - 5]	0.000	0.000	0.024	0.316	0.332	0.369	0.224	0.026	0.000
	[5 - 5.5]	0.000	0.000	0.000	0.097	0.126	0.203	0.068	0.032	0.000
	[5.5 - 6]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.108	0.055	0.008	0.003
	[6 - 6.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.055	0.024	0.013	0.000
	[6.5 - 7]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.029	0.021	0.000	0.000
	[7 - 7.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000

a) Período de 1998-2010

Verão 1998-2010		T _p (s)								
		[2- 4]	[4 - 6]	[6- 8]	[8 - 10]	[10- 12]	[12 - 14]	[14 - 16]	[16- 18]	[18 - 20]
H _s (m)	[0 - 0.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[0.5 - 1]	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[1 - 1.5]	0.011	0.223	2.446	2.635	2.086	0.577	0.023	0.000	0.000
	[1.5 - 2]	0.000	0.995	8.728	6.762	7.785	3.944	0.400	0.069	0.006
	[2 - 2.5]	0.000	0.686	8.260	7.528	6.573	5.813	0.903	0.091	0.006
	[2.5 - 3]	0.000	0.126	4.224	5.642	3.675	3.630	0.669	0.086	0.000
	[3 - 3.5]	0.000	0.011	1.715	3.704	1.772	1.600	0.332	0.051	0.000
	[3.5 - 4]	0.000	0.000	0.314	1.532	0.566	0.932	0.211	0.000	0.000
	[4 - 4.5]	0.000	0.000	0.091	0.829	0.211	0.372	0.046	0.017	0.000
	[4.5 - 5]	0.000	0.000	0.046	0.400	0.149	0.137	0.051	0.006	0.000
	[5 - 5.5]	0.000	0.000	0.000	0.109	0.074	0.034	0.023	0.000	0.000
	[5.5 - 6]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.029	0.000	0.000	0.000
	[6 - 6.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[6.5 - 7]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[7 - 7.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

b) Verão de 1998-2010

Inverno 1998-2010		T _p (s)								
		[2- 4]	[4 - 6]	[6- 8]	[8 - 10]	[10- 12]	[12 - 14]	[14 - 16]	[16- 18]	[18 - 20]
H _s (m)	[0 - 0.5]	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[0.5 - 1]	0.005	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[1 - 1.5]	0.005	0.210	0.694	1.014	1.166	0.583	0.032	0.000	0.000
	[1.5 - 2]	0.005	0.541	3.315	4.482	6.352	5.212	1.051	0.089	0.016
	[2 - 2.5]	0.000	0.620	4.282	5.333	6.300	9.473	2.102	0.179	0.016
	[2.5 - 3]	0.000	0.116	2.701	4.298	3.504	6.604	2.333	0.289	0.005
	[3 - 3.5]	0.000	0.005	1.487	3.620	2.364	3.783	1.403	0.215	0.011
	[3.5 - 4]	0.000	0.000	0.483	1.897	1.666	2.086	0.930	0.110	0.000
	[4 - 4.5]	0.000	0.000	0.110	0.914	0.877	1.061	0.583	0.058	0.000
	[4.5 - 5]	0.000	0.000	0.005	0.252	0.489	0.609	0.399	0.047	0.000
	[5 - 5.5]	0.000	0.000	0.000	0.095	0.184	0.373	0.116	0.063	0.000
	[5.5 - 6]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.063	0.189	0.110	0.016	0.005
	[6 - 6.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.110	0.047	0.026	0.000
	[6.5 - 7]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.058	0.042	0.000	0.000
	[7 - 7.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000

c) Inverno de 1998-2010

Como se pode observar nas tabelas acima, de forma geral, períodos de pico maiores correspondem à maiores alturas de onda significativas e períodos de pico menores verificam-se, predominantemente, em ondas com alturas significativas menores. Além

disso, pode-se constatar que há maior probabilidade de ocorrência, cerca de 7.6%, de ondas com $H_s=]2 - 2.5]m$ e $T_p=]12 - 14]s$ e, também, de ondas com $H_s=]1.5 - 2]m$ e $T_p=]10 - 12]s$, que correspondem a uma probabilidade de 7.2%.

No verão há maior ocorrência de ondas com $H_s=]1.5 - 2.5]m$ e $T_p=]6 - 8]s$, o que corresponde à uma probabilidade de 19%.

O inverno é marcado pela maior ocorrência de ondas com $H_s=]2 - 2.5]m$ e $T_p=]12 - 14]s$ (maiores períodos de pico), sendo que as ondas com estas características ocorrem com uma probabilidade de 9.5%.

A análise por estação comprova o exposto no parágrafo referente à análise global dos dados, o que permite afirmar que a estação menos energética (verão) corresponde à menores valores de alturas de onda significativas e de períodos de pico e, a mais energética (inverno) está associada à maiores valores de alturas de onda significativas e de períodos de pico.

5.2. Clima Extremo

5.2.1. Selecção da Série de Máximos Independentes

Com o auxílio do programa AnaTorBo, usando os dados de 1998-2010 e, considerando uma $H_{s\text{ limite}} = 4m$, encontraram-se 183 temporais, cuja a duração média é de 1,228 dias (aproximadamente 29 horas).

As principais características dos temporais encontram-se no Anexo 3. Através de uma análise da série de temporais encontrada, verificou-se que:

- A duração mínima é de 0.269 dias e corresponde ao temporal ocorrido em Setembro de 1998, entre os dias 19 e 20;
- A duração máxima é de 5.159 dias e corresponde ao temporal ocorrido entre 26/06 e 1/07 de 2009;
- Resumidamente, os temporais podem ser descritos pelos valores de $H_{sméd}$, $H_{smáx}$, $T_{pméd}$ e $T_{pmáx}$, de acordo com as direcções principais (Este-Sudeste, Sul-Sudoeste e Sudoeste) e para todas as direcções, conforme se apresenta na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Principais características dos temporais de 1998-2010, para $H_{slimite}=4m$

Direcção	$H_{sméd}$ (m)	$H_{smáx}$ (m)	$T_{pméd}$ (s)	$T_{pmáx}$ (s)
Este-Sudeste	4.33	5.22	9.08	10.90
Sul-Sudoeste	4.56	7.07	12.91	17.30
Sudoeste	4.48	6.55	12.67	18.00
Todas	4.48	7.07	14.55	18.00

Em seguida, são apresentados, em diagramas de barras, os temporais verificados em cada ano (Figura 5.5) e os temporais verificados em cada mês (Figura 5.6).

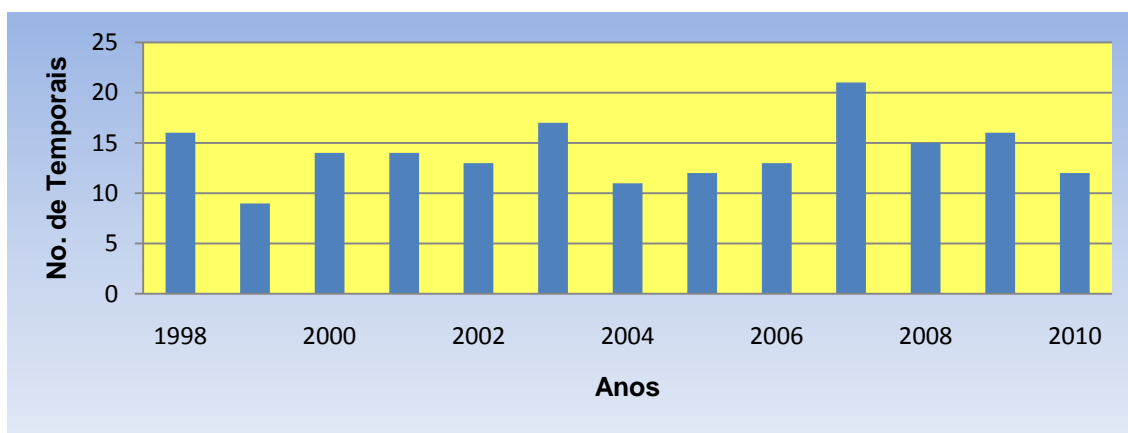


Figura 5.5 Temporais verificados em cada ano da amostra.

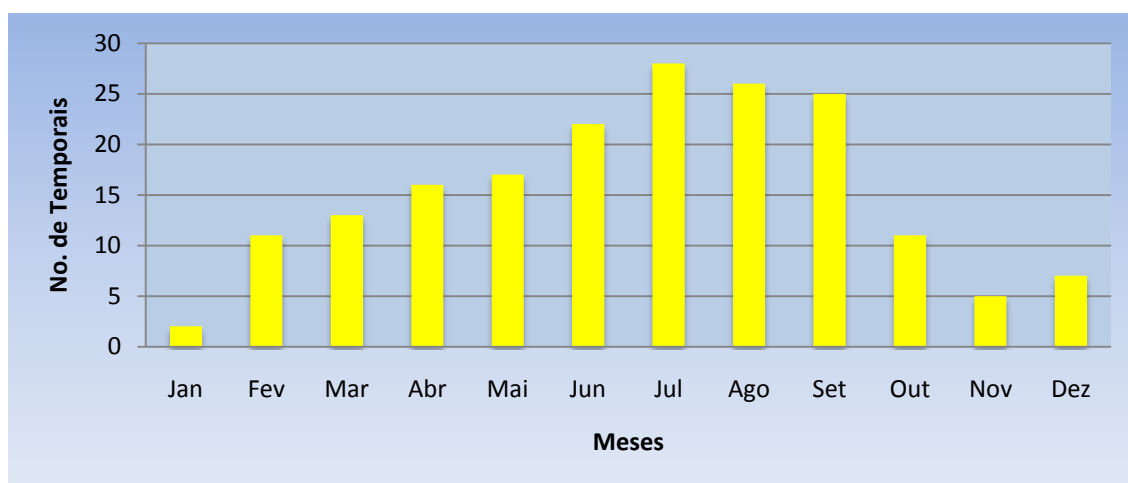


Figura 5.6 Temporais verificados em cada mês da amostra.

É possível constatar que há um certo equilíbrio, no que diz respeito ao número de temporais verificados por ano (aproximadamente 14), verificando-se anos de pico, como é o caso de 2007 e com cerca de 21 temporais.

Analisando a Figura 5.6, verifica-se que os meses correspondentes aos meses de inverno (Abril a Setembro) apresentam maior ocorrência de temporais, correspondendo a cerca de 73%, ou seja, 134 temporais ocorreram nos meses de inverno.

Tendo em conta os critérios e as considerações citadas no Capítulo 4, obtiveram-se 150 temporais independentes, cuja série de alturas máximas, para cada temporal, encontra-se no Anexo 3.

5.2.2. Ajustes às Funções de Distribuição de Probabilidades

Neste sub-capítulo, apresentam-se os resultados obtidos a partir do programa *Estones*, para a série de máximos independentes (para $H_{slimite} = 4m$ e $H_{slimite} = 4.5m$ e, intervalo mínimo entre temporais de 7 dias).

Nas Tabelas 5.4 e 5.5 apresentam-se os parâmetros que serviram para a selecção das FDP's que melhor se ajustam às series. No Anexo 3, é possível vêr a representação gráfica das FDP's para a $H_{slimite} = 4m$.

Tabela 5.4 Principais parâmetros obtidos nos ajustes às FDP's para $H_{slimite} = 4m$

F.D.P.'s	Métodos de Ajuste		Verossimilhança	Nível de Significância	Máxima Diferença
Gumbel	Momentos Amostrais		9.715	0.232	0.070
	Máxima Verossimilhança		9.922	0.240	0.069
	Mínimos Quadrados	Weibull	7.502	0.160	0.078
		Gringorten	9.546	0.226	0.070
Frechet	Momentos Amostrais		-	-	-
	Mínimos Quadrados	Weibull	11.243	0.293	0.064
		Goda & Onozawa	-	-	-
Weibull	Momentos Amostrais		-	-	-
	Máxima Verossimilhança		14.636	0.531	0.046
	Mínimos Quadrados	Weibull	14.659	0.675	0.036
		Petraukas & Aagard	14.821	0.576	0.043
		Goda	14.834	0.583	0.042

Tabela 5.5 Principais parâmetros obtidos nos ajustes às FDP's para $H_{slimite} = 4.5m$

F.D.P.'s	Métodos de Ajuste		Verossimilhança	Nível de Significância	Máxima Diferença
Gumbel	Momentos Amostrais		8.115	0.252	0.086
	Máxima Verossimilhança		7.908	0.242	0.087
	Mínimos Quadrados	Weibull	14.518	0.696	0.035
		Gringorten	14.785	0.564	0.044
Frechet	Momentos Amostrais		-	-	-
	Mínimos Quadrados	Weibull	14.725	0.549	0.045
		Goda & Onozawa	-	-	-
Weibull	Momentos Amostrais		-	-	-
	Máxima Verossimilhança		10.609	0.409	0.069
	Mínimos Quadrados	Weibull	13.391	0.784	0.028
		Petraukas & Aagard	14.334	0.716	0.033
		Goda	14.321	0.717	0.033

Para a escolha do melhor ajuste, tiveram-se em conta os critérios de maior índice de verossimilhança, menor nível de significância e, menor valor de máxima diferença. Sendo assim, para $H_{slimite} = 4m$ escolheu-se como melhor ajuste a função de Weibull, pelo método de mínimos quadrados, usando a expressão de Goda e, a função de Gumbel, pelo método de mínimos quadrados, usando a expressão de Gringorten para $H_{slimite} = 4.5m$ confirmando, deste modo, a teoria de Liu & Burchart (1999) que consideram as funções de Gumbel e de Weibull, como as que apresentam melhores ajustes.

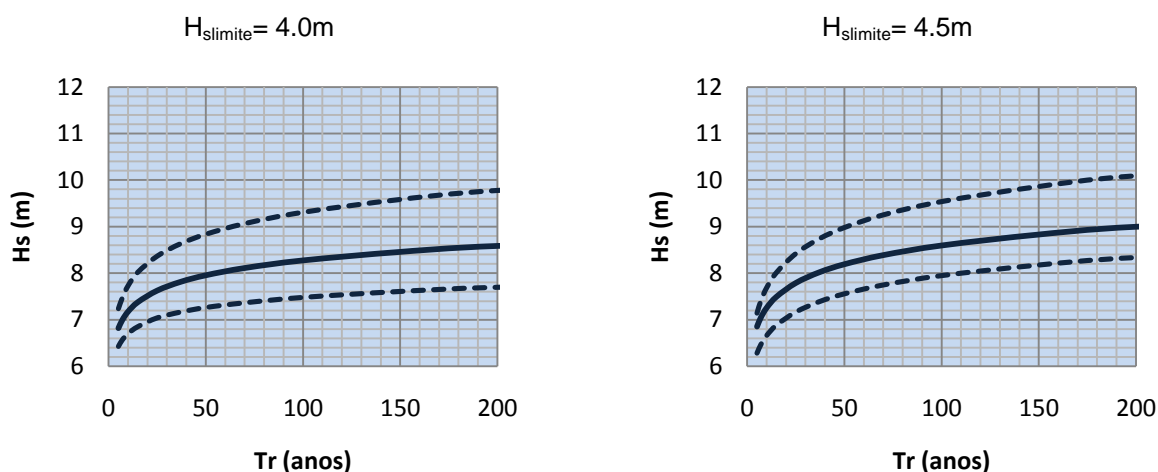
A seguir, apresenta-se, para cada $H_{slimite}$, os valores dos coeficientes para os ajustes escolhidos (vêr Tabela 5.6), bem como a correspondência entre os diversos períodos de retorno e as alturas de onda significativas (vêr Tabela 5.7 e Figura 5.7).

Tabela 5.6 Coeficientes para as FDP's com melhores ajustes

$H_{slimite}$ (m)	A	B	C
4.0	391.986	103.616	1.361
4.5	448.080	0.0164	-

Tabela 5.7 Alturas significativas em função do período de retorno

$T_r(\text{anos})$	$H_{\text{slimite}}=4.0\text{m}$			$H_{\text{slimite}}=4.5\text{m}$		
	$H_{\text{sinf}}(\text{m})$	$H_{\text{s}}(\text{m})$	$H_{\text{sup}}(\text{m})$	$H_{\text{sinf}}(\text{m})$	$H_{\text{s}}(\text{m})$	$H_{\text{sup}}(\text{m})$
5	6.43	6.82	7.24	6.28	6.85	7.14
7	6.57	6.99	7.47	6.47	7.05	7.41
10	6.70	7.18	7.73	6.66	7.26	7.69
15	6.85	7.38	8.02	6.88	7.49	8.01
25	7.04	7.63	8.37	7.16	7.79	8.42
37	7.16	7.81	8.63	7.39	8.02	8.74
50	7.26	7.95	8.84	7.56	8.19	8.98
70	7.36	8.11	9.06	7.75	8.39	9.25
100	7.48	8.27	9.31	7.95	8.59	9.54
150	7.61	8.46	9.58	8.17	8.83	9.86
200	7.69	8.58	9.77	8.34	9.00	10.09
500	7.97	8.98	10.43	8.84	9.53	10.82

Figura 5.7 Representação gráfica de $H_s(T_r)$.

Nos gráficos apresentados, as linhas a tracejado representam as alturas significativas, superior e inferior ($H_{\text{s sup}}$ e $H_{\text{s inf}}$, respectivamente), que correspondem aos limites do intervalo de confiança de 90%. Então, considerando a altura limite de 4m, para um período de retorno de 10 anos, podem-se esperar ondas com alturas significativas entre 6.70m e 7.73m, com um nível de confiança de 90%.

A diferença nos resultados encontrados com cada altura limite não é facilmente perceptível, mas pode-se constatar que as alturas significativas estimadas para a altura limite de 4.5m são ligeiramente maiores que as encontradas para a altura limite de 4m.

Há que realçar que para que seja validada a extrapolação para períodos de retorno superiores a 50 anos, conforme o princípio de três vezes o número de anos com dados, são necessários mais anos com registos.

6. Conclusões

As condições de agitação marítima ao largo da baía de Maputo são, até então, pouco conhecidas, o que se comprova pela carência de informação disponível quer em termos de dados de agitação, quer em termos de projectos de dimensionamento das estruturas costeiras existentes. Esta carência, de dados instrumentais e visuais, fez com que os dados dos modelos numéricos fossem o recurso mais acessível para o estudo em causa.

A análise dos dados do modelo NWW3 a médio prazo tornou evidente a existência de duas estações para o clima de agitação da região, nomeadamente: verão (a menos energética, corresponde aos meses entre Outubro e Março) e inverno (a mais energética, vai de Abril à Setembro). O verão é caracterizado pela ocorrência de menores alturas de onda significativas e menores períodos de pico, em relação ao inverno. Outra característica importante do verão é a maior incidência de ondas provenientes do Este-Sudeste, o que não se verifica no inverno. Todavia, há que ter em consideração a predominância de ondas com alturas entre 1.5m e 3m e períodos de pico entre 8s e 14s. No que diz respeito às direcções principais, as ondas provêm, essencialmente, do Sul-Sudoeste e Este-Sudeste.

O estudo dos temporais verificados na região comprova que o inverno é o período mais energético, sendo que a maior parte dos temporais verificaram-se nesse período. Fazendo-se uma análise aprofundada dos temporais, para a caracterização do clima extremo, com base nas formulações apresentadas no Capítulo 2 deste trabalho, entre outras, constatou-se que as FDP's de Weibull e de Gumbel são as que apresentam melhores ajustes para a série de dados da região em estudo, confirmando a teoria de Liu & Burchart (1999), apresentado no capítulo de revisão do estado de arte. Porém, deve-se tomar em consideração que o ajuste depende, entre outros factores, da série analisada e esta depende dos pressupostos, como é o caso da altura significativa limite e da duração mínima entre temporais.

7. Futuras Linhas de Trabalho

É importante referir que o maior enfoque deste trabalho de investigação está na revisão do estado de arte para a temática em causa e na metodologia a usar para a caracterização da agitação marítima. Contudo, há que tomar em consideração que:

- O estudo foi feito para o largo da Baía de Maputo, ou seja, os resultados são aplicados à águas profundas. As características de ondulação variam consoante as ondas se propaguem de águas profundas para águas pouco profundas (zona costeira) devido, principalmente, aos fenómenos relacionados com a batimetria, como: refração, empolamento e rebentação;
- Partiu-se de dados provenientes de modelos numéricos genéricos e não específicos para a região em estudo.

Sendo assim e tendo em conta o trabalho desenvolvido nesta tese, propõe-se uma série de trabalhos que se julga necessário desenvolver, nomeadamente:

- A implantação de um sistema de medição, leitura e registo de dados de agitação marítima em diferentes pontos de interesse da costa Moçambicana;
- A recolha e a análise de dados de ondulação de outras fontes informação para a comparação e validação dos resultados obtidos neste trabalho;
- A propagação das ondulações verificadas no ponto de análise para a costa, de forma a obterem-se os valores dos parâmetros de agitação marítima para o dimensionamento das estruturas marítimas da região.

BIBLIOGRAFIA

• Referências Bibliográficas

1. Benard, L.R. 1943 – Statistical Analysis in Hydrology, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, 108, pp 1110-1160;
2. Borgman, L. 1963 – Risk Criteria, *Journal of Waterways and Harbors Division*, ASCE, 89 (WW3), pp. 1-35;
3. Burcharth, H. F., 1994 – The Design of Breakwaters, *Coastal, Estuarial and Harbour Engineer's Reference Book*, Londres, pp. 381-424;
4. Darbyshire, M., Draper, L. 1963 – Forecasting wind-generating sea waves, *Engineering*, 195:482:484;
5. Dirección General de Puertos. 1992 – ROM 0.3-91. Oleaje Anejo I. Clima Marítimo en el Litoral Español. MOPT, Centro de Publicaciones de Secretaria General Técnica, M-4792-1990, Madrid;
6. Draper, L. 1963 – Derivation of a Design Wave from Instrumental Record of sea Waves, *Proceeding of the Institution of Civil Engineers*, Londres, vol. 26, pp 291-304;
7. Goda, Y. 1979 – A Review on Statistical Interpretation of Wave Data, *Report of Port & Harbour Research Institute*, 18(1), pp 5-32;
8. Goda, Y. 1988 – On the Methodology of Selecting Design Wave Height, *Proceedings 21st International Conference on Coastal Engineering*, Espanha, pp. 899–913;
9. Goda, Y. 1990 – Distribution Function Fitting for Storm Wave Data. *Proceedings of the 22nd International Conference on Coastal Engineering*. Delft;
10. Gómez, J. 1999 – AnaTorBo, LIM/UPC, Barcelona;
11. Google imagens, <http://www.google.com/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>, 18 de Maio de 2011;
12. Gràcia, V. 2003 – Caracterización del Oleaje, Apuntes de la Asignatura

Ingeniería Marítima, UPC, Barcelona;

13. Herreras, L. 2002 – Estudio de los Parámetros que Caracterizan una Tormenta, Tese de Licenciatura, LIM – UPC, Barcelona;
14. http://pt.wikipedia.org/wiki/Baía_de_Maputo, 13 de Maio de 2011;
15. INE, <http://www.ine.gov.mz/>, 29 de Abril de 2011;
16. Liu, Z., Burcharth, H.F. 1996 – Design Wave Height Related to Structure Lifetime, *Proceedings of the 25th International Conference on Coastal Engineering*, Orlando;
17. Longuet-Higgins, S.M. 1952 – On the Statistical Distributions of Sea Waves, *Journal of Marine Research*, 11(3), pp 245-265;
18. Tolman, H.L. 2002 – User Manual and System Documentation of WW3 version 2.22, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, Technical note nr.222;
19. USACE, 1984 – Shore Protection Manual. Department of the Army, U.S. Corps of Engineers, Washington, DC 20314;
20. Vérges, D. 1995 – Análisis Extremal del Oleaje para el Diseño de Obras Marítimas, Tese de Especialidade, ETSECCPB - UPC, Barcelona;
21. Weibull, W. 1939 – A Statistical Theory of the Strength of Materials, Roy. Swed. Inst. Eng. Res., 151.

• Bibliografia Complementar

1. Andersen, T. L., Friggard, P. 2007 – Lecture Notes for the Course in Water Wave Mechanics, 16^aed., Universidade de Aalborg, Dinamarca;
2. Direcção Nacional de Gestão Ambiental. 2005 – Avaliação da Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas e Estratégias de Adaptação, Ministério para Coordenação da Acção Ambiental, Maputo;
3. Henriques, D. M. M. G. 2009 – Estudo de Áreas para Implementação de

Tecnologias para Aproveitamento da Energia das Ondas na Ilha da Madeira, Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa;

4. <http://iodeweb2.vliz.be/omap/StateWebsites/mozambique/infinahina.html>, 18 de Maio de 2011;
5. Langa, J. V.Q. 2007 – Problemas na Zona Costeira de Moçambique com Ênfase para a Costa de Maputo, *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 7(1), pp. 33-44;
6. Liu, Z., Friggard, P. 2001 - Generation and Analysis of Random Waves, 3ªed., Universidade de Aalborg, Dinamarca;
7. NOAA, <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/index2.shtml?>, 31 de Março de 2011;
8. Nhapulo, C. I. S. 2000 – Correntes de Marés e Circulação Geral da Baía de Maputo, Tese de Licenciatura, UEM, Maputo;
9. Pereira, A. I. S. 2008 – Modelação da Agitação Marítima em Zonas Costeiras, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa;
10. Solano Puente, M. 2004 – Caracterización Extremal del Oleaje en la Costa Catalana, Tese de Licenciatura, UPC, Barcelona;
11. Wilks, D. S. 2006 – Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, 2ªed., Elsevier Inc., EUA.

ANEXOS

ANEXO 1 : Dados de 1998-2010

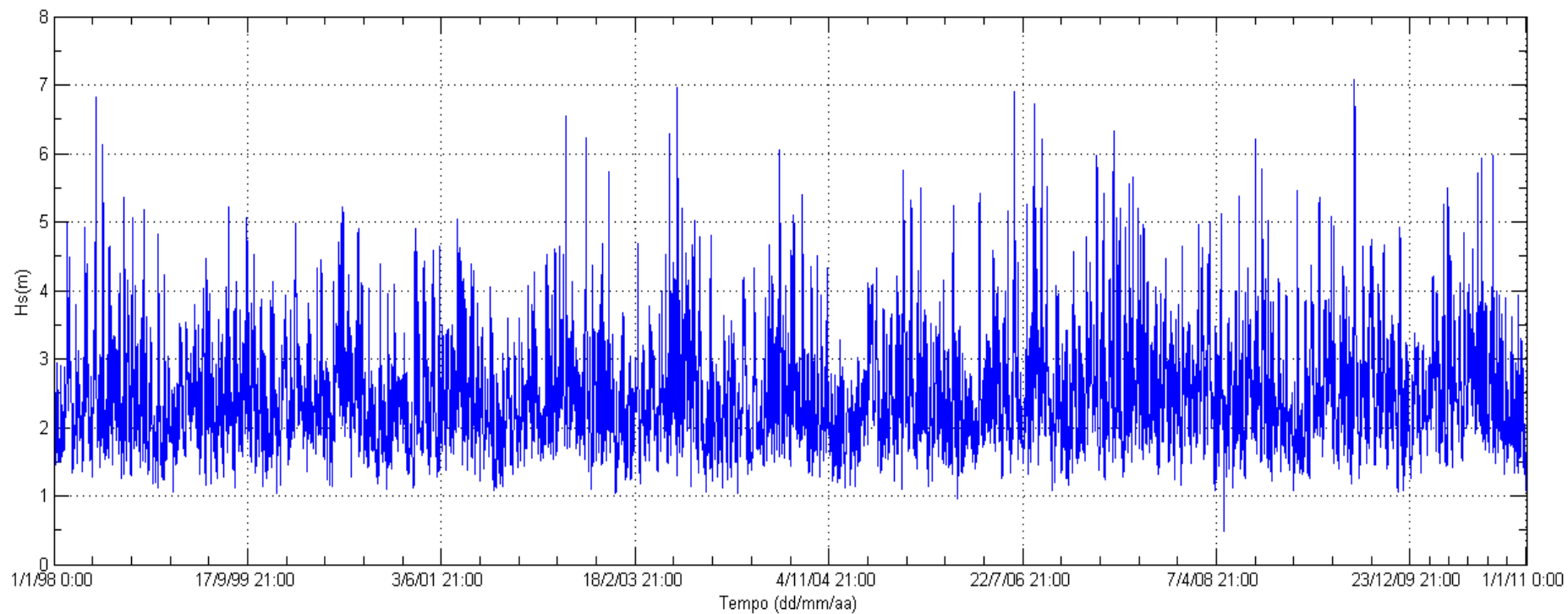


Figura 1 (A1-1). Curva do estado de mar ($H_s(t)$) para o período de 1998-2010

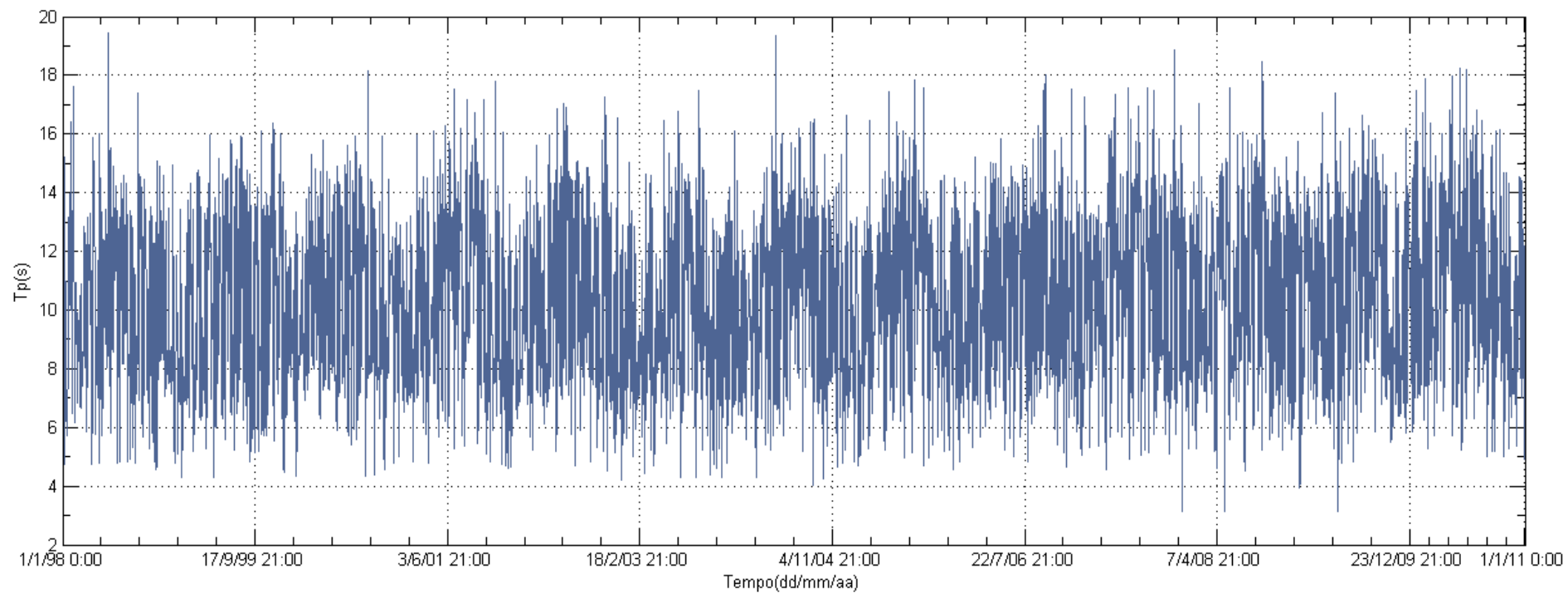


Figura 2 (A1-2). Curva do estado de mar ($T_p(t)$) para o período de 1998-2010.

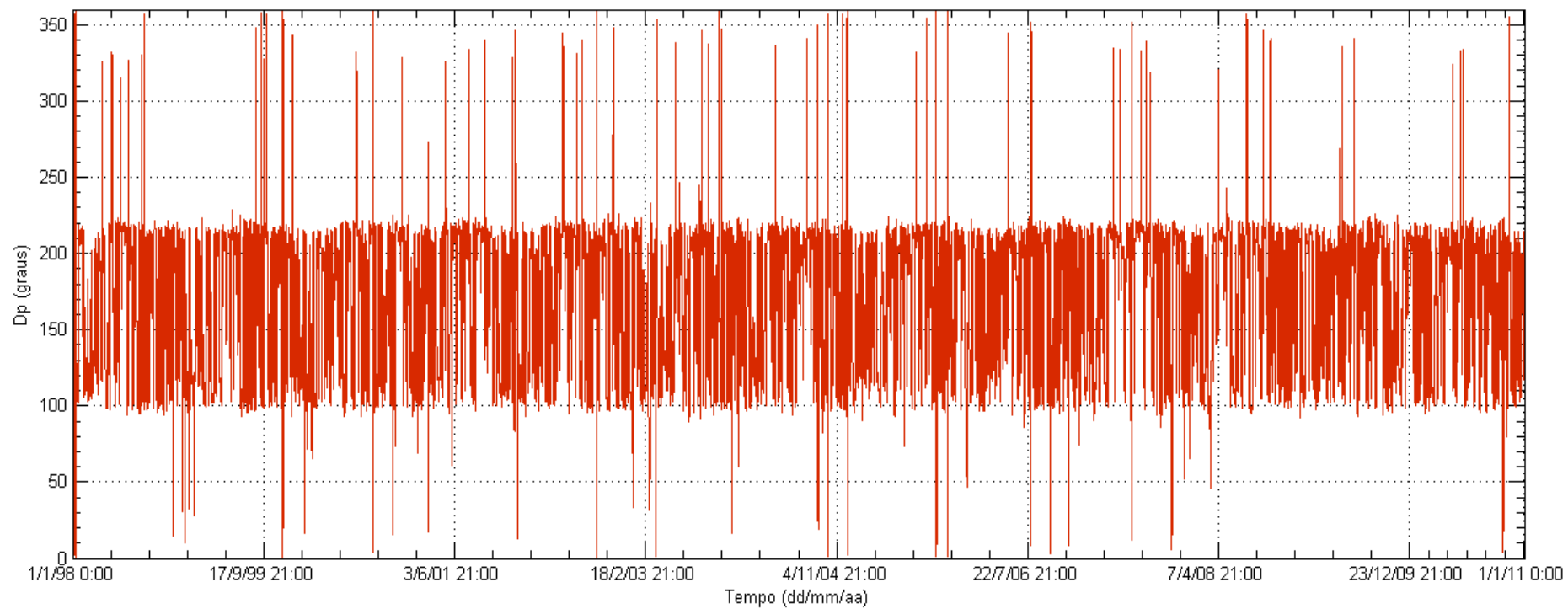


Figura 3 (A1-3). Curva do estado de mar ($D_p(t)$) para o período de 1998-2010.

ANEXO 2 : Análise do Clima Médio

1. Clima de ondulação

Tabela 1 (A2-1). Probabilidades de ocorrência para alturas de onda significativas

H _s (m)	Probabilidades(%)						
	1998-2010	Verão 1998-2010	Inverno 1998-2010	Verão 1999-2000	Inverno 1999-2000	Verão 2004-2005	Inverno 2004-2005
]0 - 0.5]	0.005	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
]0.5 - 1]	0.024	0.006	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000
]1 - 1.5]	5.716	8.002	3.704	6.079	3.347	9.409	6.288
]1.5 - 2]	25.179	28.688	21.063	24.795	19.809	30.907	24.744
]2 - 2.5]	29.125	29.860	28.303	31.762	29.030	34.135	25.837
]2.5 - 3]	18.826	18.051	19.850	19.126	23.907	15.934	16.815
]3 - 3.5]	10.947	9.186	12.888	10.314	13.661	5.014	13.944
]3.5 - 4]	5.415	3.555	7.172	4.918	5.055	3.571	7.929
]4 - 4.5]	2.554	1.566	3.604	2.186	3.620	1.030	2.392
]4.5 - 5]	1.290	0.789	1.802	0.820	1.366	0.000	0.752
]5 - 5.5]	0.527	0.240	0.830	0.000	0.205	0.000	1.025
]5.5 - 6]	0.219	0.057	0.384	0.000	0.000	0.000	0.273
]6 - 6.5]	0.108	0.000	0.215	0.000	0.000	0.000	0.000
]6.5 - 7]	0.061	0.000	0.121	0.000	0.000	0.000	0.000
]7 - 7.5]	0.005	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabela 2 (A2-1). Probabilidades de ocorrência para períodos de pico

T _p (s)	Probabilidades(%)						
	1998-2010	Verão 1998-2010	Inverno 1998-2010	Verão 1999-2000	Inverno 1999-2000	Verão 2004-2005	Inverno 2004-2005
]2- 4]	0.013	0.011	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000
]4 - 6]	1.769	2.041	1.539	1.981	1.093	3.159	1.367
]6- 8]	19.271	25.825	13.077	24.863	14.549	27.541	11.688
]8 - 10]	25.590	29.145	21.904	33.470	25.068	27.953	15.243
]10- 12]	23.170	22.921	23.018	20.287	21.311	22.527	28.366
]12 - 14]	23.515	17.068	30.142	16.530	30.055	16.140	34.997
]14 - 16]	5.926	2.658	9.158	2.664	7.582	2.404	6.972
]16- 18]	0.713	0.320	1.093	0.205	0.273	0.275	1.367
]18 - 20]	0.032	0.011	0.053	0.000	0.068	0.000	0.000

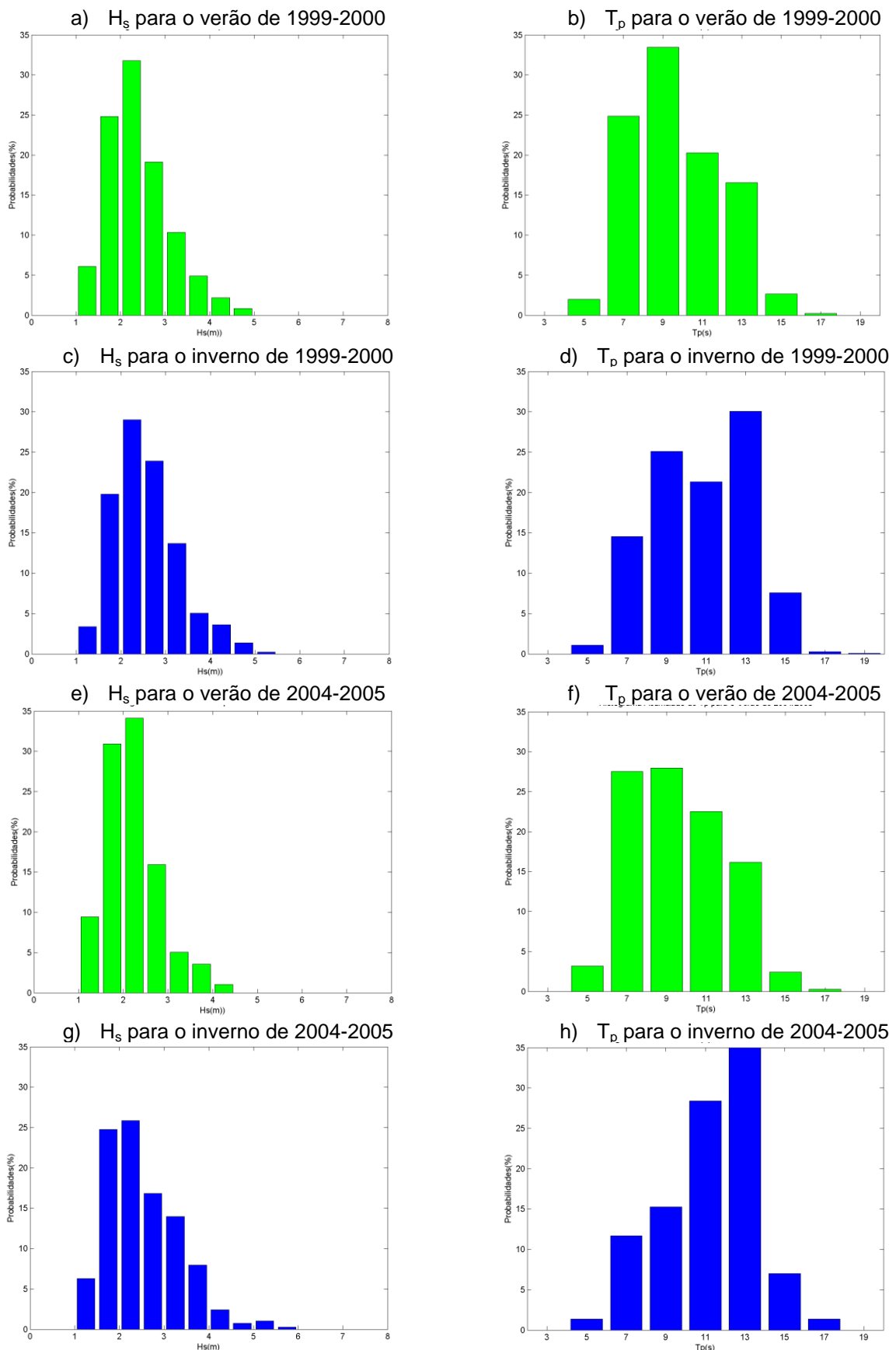


Figura 1 (A2-2). Histogramas de distribuição de H_s e T_p

2. Rosas de Ondulação

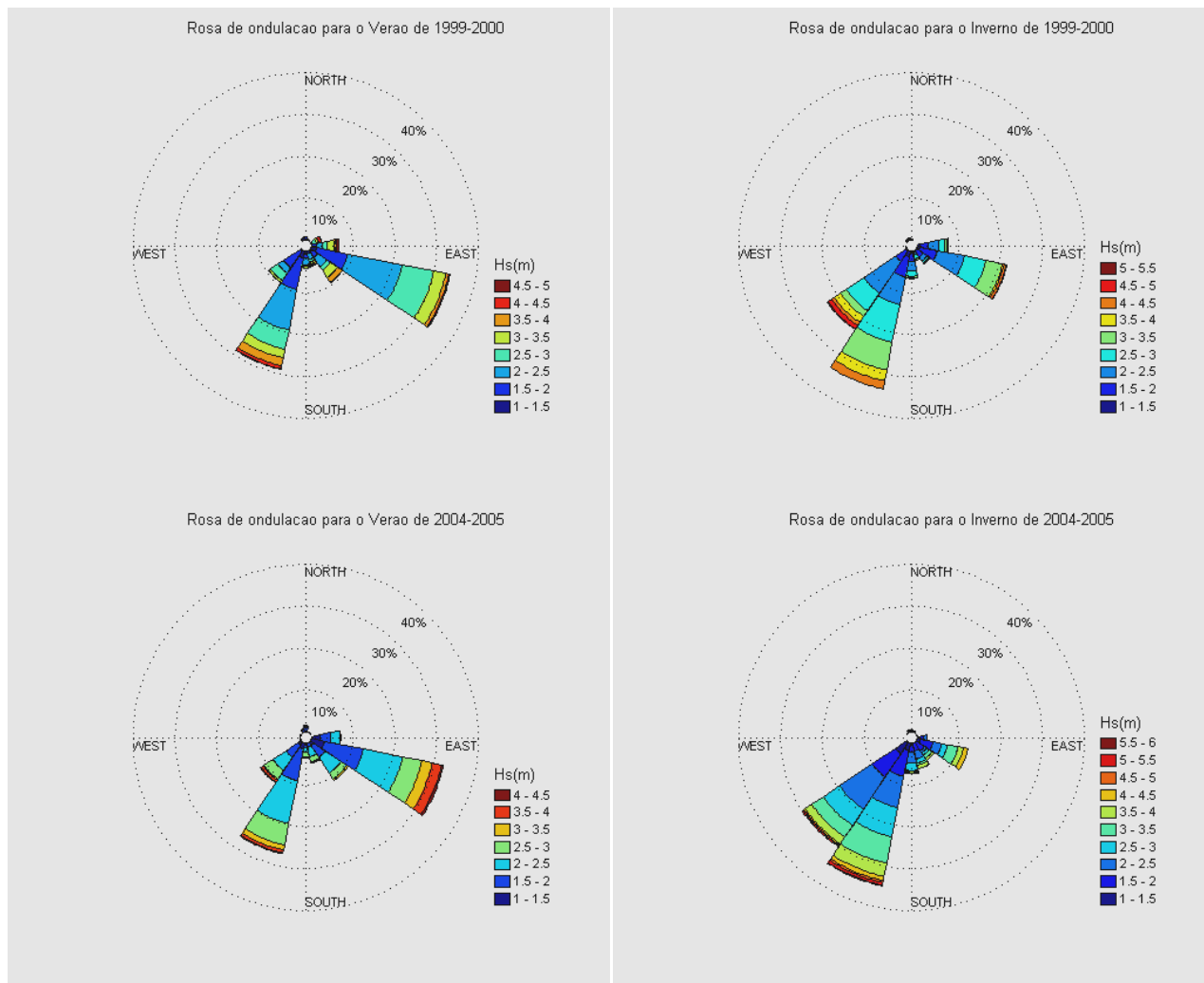


Figura 2 (A2-3). Rosas de ondulação

3. Tabelas de contingência

Tabela 3 (A2-4). Tabelas de contingência $T_p - H_s$ para o verão e o inverno de 1999-2000, respectivamente.

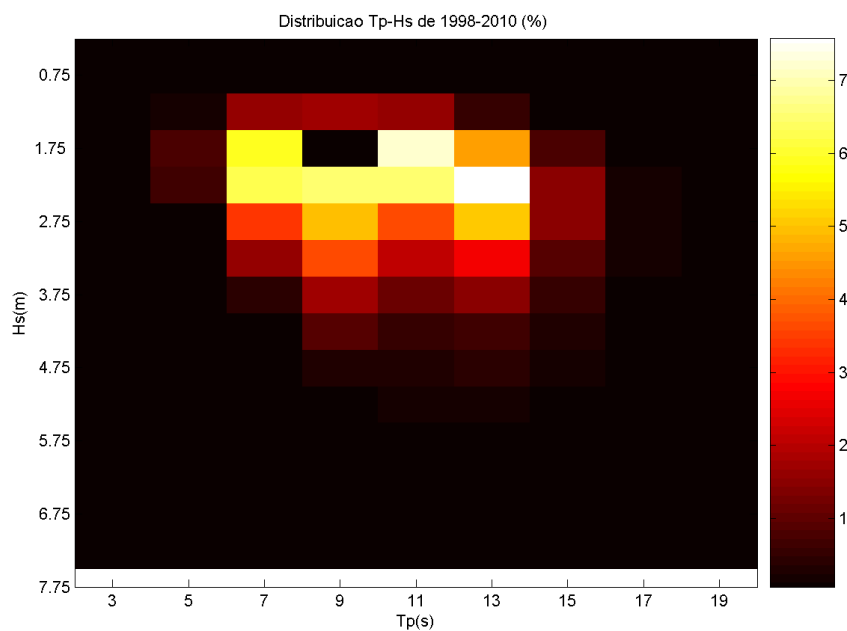
Verão 1999-2000		$T_p(s)$								
		[2- 4]	[4 - 6]	[6- 8]	[8 - 10]	[10- 12]	[12 - 14]	[14 - 16]	[16- 18]	[18 - 20]
$H_s(m)$	[0 - 0.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[0.5 - 1]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[1 - 1.5]	0.000	0.410	1.776	2.459	1.298	0.137	0.000	0.000	0.000
	[1.5 - 2]	0.000	0.888	6.762	5.601	7.923	3.279	0.273	0.068	0.000
	[2 - 2.5]	0.000	0.546	9.631	8.607	7.036	5.191	0.751	0.000	0.000
	[2.5 - 3]	0.000	0.137	4.235	7.309	2.186	4.098	1.161	0.000	0.000
	[3 - 3.5]	0.000	0.000	1.981	5.328	1.298	1.571	0.137	0.000	0.000
	[3.5 - 4]	0.000	0.000	0.342	2.664	0.068	1.571	0.273	0.000	0.000
	[4 - 4.5]	0.000	0.000	0.137	1.298	0.000	0.615	0.068	0.068	0.000
	[4.5 - 5]	0.000	0.000	0.000	0.205	0.478	0.068	1.366	0.068	0.000
	[5 - 5.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[5.5 - 6]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[6 - 6.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[6.5 - 7]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[7 - 7.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Inverno 1999-2000		$T_p(s)$								
		[2- 4]	[4 - 6]	[6- 8]	[8 - 10]	[10- 12]	[12 - 14]	[14 - 16]	[16- 18]	[18 - 20]
$H_s(m)$	[0 - 0.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[0.5 - 1]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[1 - 1.5]	0.000	0.137	1.230	0.683	1.093	0.068	0.137	0.000	0.000
	[1.5 - 2]	0.000	0.615	3.689	5.328	5.669	3.484	0.820	0.137	1.000
	[2 - 2.5]	0.000	0.205	4.645	6.831	6.967	8.333	1.913	0.137	0.000
	[2.5 - 3]	0.000	0.137	3.552	5.464	3.757	8.402	2.596	0.000	0.000
	[3 - 3.5]	0.000	0.000	1.298	4.918	2.117	4.713	0.615	0.000	0.000
	[3.5 - 4]	0.000	0.000	0.068	0.683	0.683	2.937	0.683	0.000	0.000
	[4 - 4.5]	0.000	0.000	0.068	0.888	0.546	1.503	0.615	0.000	0.000
	[4.5 - 5]	0.000	0.000	0.000	0.273	0.478	0.478	0.137	0.000	0.000
	[5 - 5.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[5.5 - 6]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[6 - 6.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[6.5 - 7]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[7 - 7.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

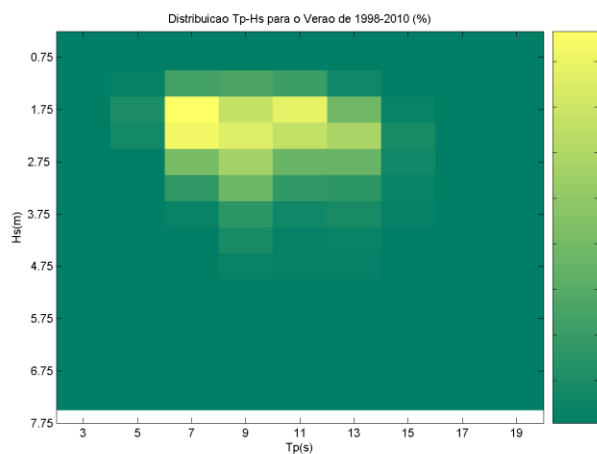
Tabela 4 (A2-5). Tabelas de contingência para o verão e o inverno de 2004-2005, respectivamente.

Verão 2004-2005		T _p (s)								
		[2- 4]	[4 - 6]	[6- 8]	[8 - 10]	[10- 12]	[12 - 14]	[14 - 16]	[16- 18]	[18 - 20]
H _s (m)	[0 - 0.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[0.5 - 1]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[1 - 1.5]	0.000	0.412	5.014	2.335	1.030	0.618	0.000	0.000	0.000
	[1.5 - 2]	0.000	1.923	9.203	8.585	7.349	3.434	0.343	0.069	0.000
	[2 - 2.5]	0.000	0.824	8.516	9.272	7.967	6.456	0.893	0.206	0.000
	[2.5 - 3]	0.000	0.000	3.915	3.434	4.258	3.915	0.412	0.000	0.000
	[3 - 3.5]	0.000	0.000	0.893	2.473	0.618	0.755	0.275	0.000	0.000
	[3.5 - 4]	0.000	0.000	0.000	1.648	0.893	0.549	0.481	0.000	0.000
	[4 - 4.5]	0.000	0.000	0.000	0.206	0.412	0.412	0.000	0.000	0.000
	[4.5 - 5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[5 - 5.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[5.5 - 6]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[6 - 6.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[6.5 - 7]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[7 - 7.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

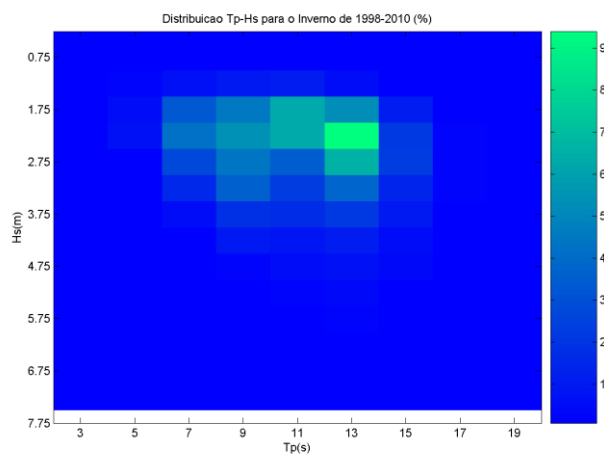
Inverno 2004-2005		T _p (s)								
		[2- 4]	[4 - 6]	[6- 8]	[8 - 10]	[10- 12]	[12 - 14]	[14 - 16]	[16- 18]	[18 - 20]
H _s (m)	[0 - 0.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[0.5 - 1]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[1 - 1.5]	0.000	0.137	0.547	0.752	3.008	1.846	0.000	0.000	0.000
	[1.5 - 2]	0.000	0.273	3.213	4.375	10.185	5.810	0.684	0.205	0.000
	[2 - 2.5]	0.000	0.820	3.828	2.461	6.699	9.364	2.324	0.342	0.000
	[2.5 - 3]	0.000	0.137	1.572	2.597	3.418	7.109	1.846	0.137	0.000
	[3 - 3.5]	0.000	0.000	1.914	2.187	2.802	5.400	1.572	0.068	0.000
	[3.5 - 4]	0.000	0.000	0.615	1.846	1.846	3.281	0.273	0.068	0.000
	[4 - 4.5]	0.000	0.000	0.000	1.025	0.273	0.889	0.205	0.205	0.000
	[4.5 - 5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.068	0.478	0.068	0.137	0.000
	[5 - 5.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.068	0.547	0.000	0.410	0.000
	[5.5 - 6]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.273	0.000	0.000	0.000
	[6 - 6.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[6.5 - 7]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	[7 - 7.5]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



a) Período de 1998-2010



b) Verão de 1998-2010



c) Inverno de 1998-2010

Figura 3 (A2-6). Representação gráfica da distribuição de T_p - H_s

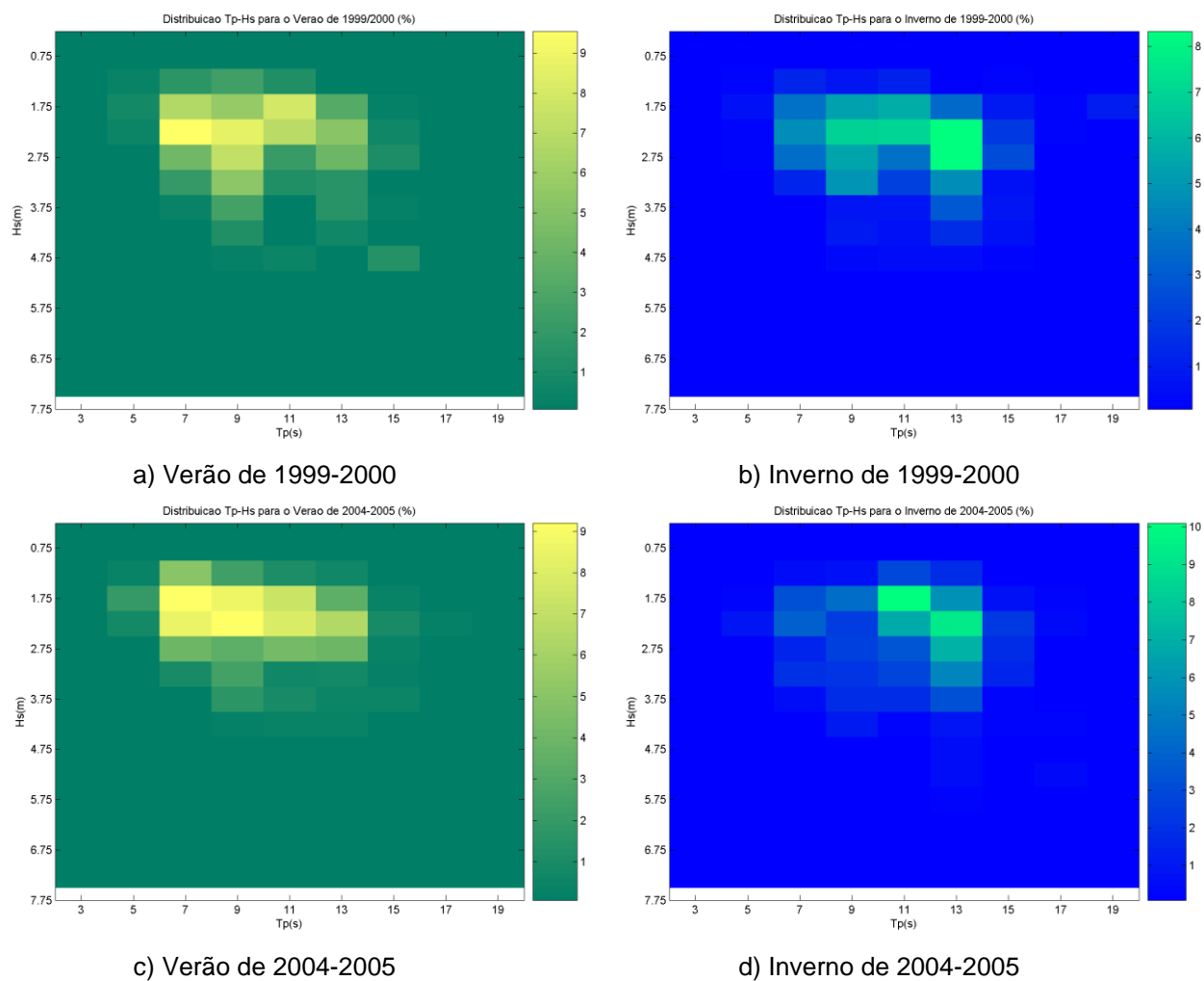


Figura 4 (A2-7). Representação gráfica da distribuição de T_p - H_s

ANEXO 3 : Análise do Clima Extremo

1. Selecção da série de máximos independentes

Tabela 1 (A3-1). Temporais verificados pelo programa AnaTorbo, no período de 1998-2010 ($H_{\text{limite}}=4\text{m}$)

	Data (dd/mm/aa)	Início (h)	Data (dd/mm/aa)	Término (h)	Duração (dias)	H_s méd (m)	H_s máx (m)	T_p méd (s)	T_p máx (s)	D_p méd (°)
1	11/02/1998	15	13/02/1998	6	1.6303	4.62	4.98	10.1	10.8	138
2	18/02/1998	21	19/02/1998	15	0.6966	4.31	4.48	9.0	9.1	127
3	09/04/1998	15	10/04/1998	21	1.3282	4.58	4.92	13.7	15.9	203
4	16/04/1998	18	17/04/1998	15	0.8920	4.24	4.38	9.3	9.3	134
5	13/05/1998	0	13/05/1998	21	0.8560	4.37	4.70	11.1	11.1	212
6	16/05/1998	18	18/05/1998	12	1.7886	5.42	6.83	10.7	11.2	130
7	08/06/1998	0	09/06/1998	9	1.2559	5.12	6.12	12.3	13.3	217
8	28/06/1998	18	29/06/1998	21	1.0891	4.42	4.65	12.5	12.5	213
9	31/07/1998	21	01/08/1998	15	0.7708	4.18	4.24	8.3	8.3	127
10	16/08/1998	6	17/08/1998	6	1.0521	4.83	5.35	12.4	12.8	217
11	28/08/1998	6	28/08/1998	21	0.5424	4.08	4.15	8.5	8.6	108
12	11/09/1998	21	13/09/1998	15	1.7834	4.64	5.06	13.8	14.4	210
13	19/09/1998	18	20/09/1998	3	0.2692	4.03	4.06	11.1	11.1	209
14	17/10/1998	3	19/10/1998	3	2.0448	4.71	5.17	9.0	9.3	120
15	03/12/1998	12	05/12/1998	0	1.4921	4.41	4.83	8.6	8.9	147
16	24/12/1998	0	24/12/1998	12	0.4630	4.14	4.22	14.1	14.1	211
17	28/04/1999	0	28/04/1999	9	0.3958	4.02	4.02	8.5	8.5	116
18	06/05/1999	9	07/05/1999	12	1.1721	4.32	4.46	12.8	12.9	213
19	12/05/1999	3	12/05/1999	15	0.4922	4.10	4.14	12.6	12.6	202
20	19/07/1999	3	20/07/1999	12	1.4010	4.70	5.22	14.4	14.8	218
21	12/08/1999	6	12/08/1999	21	0.5778	4.07	4.12	14.1	14.1	209
22	13/09/1999	0	14/09/1999	3	1.2402	4.68	5.05	12.1	12.3	214
23	18/09/1999	18	19/09/1999	21	1.1556	4.44	4.73	12.9	12.7	215
24	08/10/1999	9	09/10/1999	15	1.2663	4.29	4.53	12.1	13.3	181
25	08/12/1999	6	08/12/1999	15	0.3833	4.09	4.12	13.4	13.4	210
26	17/02/2000	15	18/02/2000	3	0.5298	4.10	4.15	12.5	12.5	205
27	18/02/2000	18	22/02/2000	3	3.3493	4.42	4.99	9.6	10.1	90
28	28/04/2000	12	29/04/2000	3	0.6314	4.21	4.32	12.0	12.4	210
29	13/05/2000	3	13/05/2000	21	0.7236	4.28	4.45	10.8	10.0	205
30	20/06/2000	3	20/06/2000	12	0.4271	4.10	4.12	13.6	13.6	208
31	08/07/2000	0	09/07/2000	18	1.7432	4.37	4.71	10.7	9.9	129
32	17/07/2000	0	17/07/2000	21	0.9051	4.66	4.98	11.4	11.9	220
33	21/07/2000	6	23/07/2000	15	2.3605	4.46	5.22	13.8	14.0	216
34	07/08/2000	18	08/08/2000	6	0.5968	4.17	4.23	14.8	14.9	206
35	08/09/2000	9	09/09/2000	6	0.8850	4.59	4.91	12.0	12.1	216
36	12/09/2000	3	12/09/2000	12	0.3313	4.12	4.17	12.2	12.2	216
37	20/09/2000	6	21/09/2000	6	0.9179	4.06	4.10	8.3	8.4	120
38	12/10/2000	18	13/10/2000	3	0.3438	4.02	4.03	8.4	8.5	131
39	19/11/2000	0	19/11/2000	12	0.5161	4.25	4.39	8.8	8.6	99
40	03/01/2001	9	03/01/2001	18	0.3594	4.06	4.08	10.7	10.7	220
41	10/03/2001	15	11/03/2001	18	1.1583	4.52	4.90	9.1	8.3	140
42	14/03/2001	3	15/03/2001	9	1.3053	4.54	4.73	11.2	13.7	173
43	05/04/2001	18	06/04/2001	21	1.1239	4.21	4.33	8.2	8.3	141
44	10/04/2001	18	12/04/2001	12	1.6788	4.19	4.43	10.1	10.1	114
45	03/05/2001	12	03/05/2001	18	0.3187	4.08	4.09	9.5	9.4	141
46	07/05/2001	6	07/05/2001	21	0.6975	4.41	4.59	12.8	13.2	219
47	27/05/2001	21	28/05/2001	15	0.7462	4.40	4.64	14.8	15.0	217

	Data (dd/mm/aa)	Início (h)	Data (dd/mm/aa)	Término (h)	Duração (dias)	H _s méd (m)	H _s máx (m)	T _p méd (s)	T _p máx (s)	D _p méd (°)
48	24/07/2001	12	26/07/2001	6	1.7227	4.50	5.04	10.2	10.8	198
49	30/07/2001	21	01/08/2001	18	1.7726	4.43	4.63	9.1	9.2	110
50	07/08/2001	0	08/08/2001	6	1.3036	4.29	4.43	12.5	15.8	153
51	12/08/2001	18	13/08/2001	6	0.5479	4.12	4.17	10.9	10.9	222
52	07/09/2001	15	08/09/2001	3	0.4853	4.24	4.38	11.5	11.6	217
53	14/09/2001	9	16/09/2001	9	1.9741	4.22	4.29	9.6	10.1	183
54	30/03/2002	0	30/03/2002	18	0.7038	4.16	4.27	12.7	12.7	216
55	08/05/2002	12	09/05/2002	21	1.3393	4.32	4.53	12.1	12.2	217
56	02/06/2002	18	04/06/2002	6	1.4680	4.31	4.59	12	11.9	212
57	05/06/2002	18	06/06/2002	15	0.9408	4.42	4.61	14.5	14.7	198
58	20/06/2002	12	22/06/2002	3	1.6843	4.42	4.65	13.5	15.2	208
59	01/07/2002	0	02/07/2002	0	0.9714	4.31	4.52	14.5	14.6	215
60	10/07/2002	21	12/07/2002	12	1.5933	5.26	6.55	12.1	13.2	218
61	31/07/2002	18	01/08/2002	3	0.3609	4.09	4.13	11.6	11.6	218
62	12/09/2002	0	15/09/2002	6	3.2917	4.97	6.23	11.2	12.4	206
63	05/10/2002	0	05/10/2002	12	0.5144	4.27	4.37	12.3	12.3	216
64	31/10/2002	3	31/10/2002	15	0.5750	4.17	4.23	13.4	13.4	213
65	06/11/2002	0	07/11/2002	15	1.5825	4.45	4.68	10	12.3	181
66	25/11/2002	0	27/11/2002	9	2.3361	5.08	5.73	10.7	11.2	195
67	27/02/2003	3	28/02/2003	15	1.5837	4.42	4.69	8.8	9.1	104
68	28/05/2003	6	29/05/2003	6	0.9897	4.27	4.52	12.3	12.4	221
69	10/06/2003	6	11/06/2003	21	1.6864	5.3	6.29	12.2	12.9	206
70	20/06/2003	18	22/06/2003	6	1.4080	4.24	4.40	8.6	8.6	105
71	25/06/2003	12	26/06/2003	3	0.5722	4.10	4.17	11.7	14.4	184
72	28/06/2003	15	29/06/2003	3	0.4396	4.08	4.15	8.3	8.4	112
73	04/07/2003	21	07/07/2003	3	2.2779	5.69	6.97	13.9	14.8	198
74	21/07/2003	6	22/07/2003	9	1.1722	4.75	5.19	13.8	13.9	210
75	01/08/2003	6	03/08/2003	0	1.7529	4.37	4.55	13.1	13.4	138
76	07/08/2003	15	08/08/2003	0	0.2746	4.03	4.06	8.1	8.2	117
77	08/08/2003	12	09/08/2003	3	0.6000	4.09	4.15	9.3	9.3	103
78	21/08/2003	3	22/08/2003	12	1.2982	4.38	4.67	14.3	14.4	215
79	27/08/2003	3	28/08/2003	0	0.875	4.32	4.48	10.8	11.1	215
80	30/08/2003	9	31/08/2003	9	1.0419	4.63	5.02	16.3	17.3	208
81	14/09/2003	3	17/09/2003	6	3.2245	4.43	4.78	10.7	13.9	159
82	19/10/2003	9	19/10/2003	15	0.3295	4.16	4.17	8.3	8.4	147
83	20/10/2003	6	22/10/2003	6	1.9810	4.47	4.80	9.1	9.2	121
84	03/02/2004	0	04/02/2004	0	1.0556	4.11	4.19	8.9	8.5	133
85	08/03/2004	6	09/03/2004	6	0.9263	4.16	4.32	8.7	8.5	123
86	27/04/2004	6	28/04/2004	6	1.1184	4.45	4.66	12.8	14.7	206
87	06/05/2004	9	07/05/2004	0	0.6375	4.14	4.20	16.1	16.3	209
88	30/05/2004	6	01/06/2004	3	1.9115	5.10	6.05	12.9	13.5	213
89	05/07/2004	6	07/07/2004	15	2.2808	4.40	4.58	11.7	9.2	204
90	14/07/2004	6	16/07/2004	3	1.8483	4.73	5.10	12.5	13.1	199
91	11/08/2004	6	13/08/2004	0	1.7372	4.82	5.40	11.5	12.3	196
92	07/09/2004	21	08/09/2004	9	0.5114	4.24	4.34	10.0	10.0	199
93	27/09/2004	12	28/09/2004	9	0.8903	4.31	4.51	10.2	10.3	213
94	31/10/2004	0	31/10/2004	18	0.7500	4.22	4.33	12.4	12.4	213
95	12/03/2005	3	12/03/2005	12	0.4167	4.08	4.10	9.1	9.1	188
96	24/03/2005	15	25/03/2005	9	0.7821	4.05	4.09	10.9	10.9	105
97	06/04/2005	15	07/04/2005	15	1.0750	4.20	4.33	9.4	9.4	119
98	10/06/2005	21	11/06/2005	12	0.5456	4.13	4.21	12.5	12.5	213
99	03/07/2005	9	05/07/2005	9	1.9658	4.97	5.76	12.1	13.0	195
100	06/07/2005	21	07/07/2005	18	0.8069	4.11	4.20	9.0	9.0	113
101	28/07/2005	3	29/07/2005	21	1.7849	4.78	5.32	13.2	13.5	210

	Data (dd/mm/aa)	Início (h)	Data (dd/mm/aa)	Término (h)	Duração (dias)	H _s méd (m)	H _s máx (m)	T _p méd (s)	T _p máx (s)	D _p méd (°)
102	19/08/2005	18	20/08/2005	3	0.4325	4.23	4.29	13.4	13.5	213
103	28/08/2005	9	29/08/2005	21	1.4855	4.88	5.50	16.1	16.7	217
104	08/11/2005	15	09/11/2005	0	0.2860	4.08	4.15	11.0	11.0	222
105	09/12/2005	18	10/12/2005	15	0.9466	4.35	4.54	13.5	13.6	211
106	12/12/2005	21	14/12/2005	3	1.2741	4.78	5.23	12.8	13.1	208
107	04/03/2006	12	07/03/2006	18	3.2233	4.75	5.41	9.7	9.5	152
108	19/04/2006	6	20/04/2006	6	1.0226	4.36	4.58	13.7	14.8	204
109	04/06/2006	6	06/06/2006	0	1.7513	4.77	5.15	9.9	10.3	163
110	23/06/2006	18	24/06/2006	3	0.3486	4.11	4.15	10.2	10.3	217
111	25/06/2006	21	28/06/2006	18	2.9149	5.44	6.91	11.9	12.6	192
112	08/07/2006	12	09/07/2006	0	0.4949	4.28	4.41	11.5	11.6	214
113	05/08/2006	6	07/08/2006	0	1.7567	4.86	5.25	11.8	12.1	220
114	27/08/2006	6	29/08/2006	6	2.0794	4.83	5.52	10.9	11.1	130
115	30/08/2006	18	02/09/2006	3	2.3675	5.41	6.73	11.6	12.4	212
116	04/09/2006	21	05/09/2006	18	0.8833	4.26	4.39	14.5	14.6	210
117	19/09/2006	0	19/09/2006	9	0.3197	4.07	4.12	9.8	9.9	219
118	21/09/2006	6	23/09/2006	3	1.9439	5.27	6.20	15.4	16.3	209
119	08/10/2006	0	10/10/2006	18	2.8045	4.84	5.52	9.9	10.1	103
120	01/01/2007	12	03/01/2007	6	1.7381	4.26	4.57	7.7	7.6	147
121	13/02/2007	21	15/02/2007	6	1.3869	4.48	4.79	12.2	12.3	218
122	24/02/2007	6	24/02/2007	18	0.6136	4.30	4.40	8.5	8.5	92
123	19/03/2007	0	20/03/2007	12	1.5094	5.18	5.98	12.7	13.5	212
124	08/04/2007	15	11/04/2007	0	2.3819	4.81	5.42	9.1	9.7	121
125	29/04/2007	12	29/04/2007	21	0.4249	4.13	4.17	11.4	11.4	220
126	11/05/2007	15	12/05/2007	21	1.2167	5.23	6.33	15.7	16.3	209
127	22/05/2007	18	24/05/2007	15	1.8611	4.53	5.06	12.0	12.5	201
128	28/05/2007	21	30/05/2007	0	1.1808	4.47	4.72	14.5	14.6	202
129	02/06/2007	6	03/06/2007	18	1.4990	4.74	5.19	9.1	9.2	113
130	19/06/2007	21	21/06/2007	3	1.1840	4.54	4.93	14.6	14.6	216
131	02/07/2007	6	03/07/2007	18	1.5326	4.99	5.55	11.2	10.8	208
132	13/07/2007	18	15/07/2007	0	1.2142	4.93	5.65	13.5	13.6	216
133	29/07/2007	0	30/07/2007	3	1.1354	4.68	5.20	14	13.9	219
134	30/07/2007	15	31/07/2007	15	1.0075	4.54	4.90	14.2	14.3	215
135	05/08/2007	12	06/08/2007	15	1.1450	4.51	4.8	13.3	13.5	211
136	16/08/2007	18	18/08/2007	3	1.3867	4.68	4.97	10.5	10.8	208
137	29/08/2007	12	30/08/2007	3	0.6226	4.08	4.12	11.4	11.5	189
138	26/09/2007	3	26/09/2007	9	0.2743	4.04	4.04	12.5	12.6	206
139	25/10/2007	21	27/10/2007	15	1.7667	4.32	4.47	12.3	13.1	207
140	19/12/2007	9	20/12/2007	9	1.0182	4.39	4.65	8.8	8.6	167
141	08/02/2008	18	10/02/2008	18	1.9261	4.53	4.96	12.5	15.0	180
142	20/02/2008	6	23/02/2008	12	3.2571	4.36	4.62	9.1	9.5	118
143	12/03/2008	3	13/03/2008	6	1.1756	4.29	4.52	10.1	10.1	105
144	16/03/2008	15	18/03/2008	9	1.7344	4.62	5.00	10.6	11.3	200
145	22/04/2008	15	23/04/2008	21	1.2794	4.70	5.11	10.7	10.9	196
146	18/06/2008	15	20/06/2008	3	1.5192	4.76	5.37	9.5	9.4	113
147	18/07/2008	3	18/07/2008	21	0.7612	4.22	4.32	13.9	13.9	212
148	10/08/2008	18	12/08/2008	6	1.4927	5.24	6.2	14.5	15.2	214
149	01/09/2008	18	03/09/2008	9	1.5882	5.15	5.77	15.2	18.0	218
150	04/09/2008	12	05/09/2008	9	0.8792	4.46	4.74	16.3	17.3	213
151	06/09/2008	18	07/09/2008	12	0.7985	4.37	4.54	13.0	13.0	215
152	12/09/2008	6	13/09/2008	0	0.7102	4.09	4.16	7.6	7.7	172
153	21/09/2008	18	23/09/2008	3	1.3672	4.60	5.02	11.1	11.2	204
154	26/10/2008	6	26/10/2008	15	0.3991	4.12	4.16	13.2	13.2	212
155	25/12/2008	12	26/12/2008	15	1.1850	4.86	5.45	15.2	15.7	215

	Data (dd/mm/aa)	Início (h)	Data (dd/mm/aa)	Término (h)	Duração (dias)	H _s méd (m)	H _s máx (m)	T _p méd (s)	T _p máx (s)	D _p méd (°)
156	06/02/2009	18	07/02/2009	3	0.4219	4.26	4.36	8.3	8.4	140
157	05/03/2009	0	07/03/2009	12	2.4613	4.82	5.36	9.7	9.8	141
158	13/04/2009	18	14/04/2009	21	1.1217	4.65	5.08	12.2	13.2	200
159	21/04/2009	15	23/04/2009	0	1.3427	4.59	4.95	11.2	11.4	205
160	21/05/2009	9	22/05/2009	12	1.1324	4.21	4.34	10.4	7.8	152
161	02/06/2009	6	02/06/2009	18	0.4576	4.04	4.05	13.3	13.3	217
162	25/06/2009	18	26/06/2009	3	0.4309	4.28	4.35	14.3	14.3	221
163	26/06/2009	12	01/07/2009	15	5.1592	5.81	7.07	13.3	14.8	202
164	24/07/2009	18	25/07/2009	18	1.0486	4.43	4.65	13.0	13.8	216
165	28/07/2009	0	28/07/2009	9	0.375	4.04	4.05	13.5	13.5	198
166	16/08/2009	15	18/08/2009	18	2.1167	4.41	4.65	10.2	10.2	130
167	21/08/2009	6	21/08/2009	21	0.7177	4.53	4.75	10.6	10.8	214
168	24/08/2009	15	25/08/2009	18	1.112	4.22	4.35	13.7	13.5	212
169	12/09/2009	21	13/09/2009	6	0.2937	4.05	4.09	14.0	14.0	206
170	29/09/2009	9	01/10/2009	3	1.8336	4.46	4.66	11.9	14.9	184
171	20/11/2009	21	21/11/2009	21	1.0789	4.61	4.92	8.3	8.4	112
172	04/03/2010	0	04/03/2010	15	0.5492	4.10	4.18	13.4	13.1	196
173	08/03/2010	21	09/03/2010	9	0.4722	4.13	4.20	9.2	9.2	108
174	11/04/2010	9	12/04/2010	9	1.1021	4.77	5.26	13.9	14.3	211
175	23/04/2010	21	26/04/2010	6	2.381	5.03	5.49	13.3	13.4	197
176	02/05/2010	21	04/05/2010	3	1.2491	4.36	4.50	15.1	15.5	203
177	02/06/2010	18	03/06/2010	3	0.3854	4.08	4.11	13.4	13.4	203
178	16/06/2010	6	17/06/2010	6	0.9928	4.55	4.85	11.1	11.2	221
179	02/07/2010	6	02/07/2010	15	0.3583	4.06	4.08	8.0	7.7	137
180	13/07/2010	12	14/07/2010	15	1.1187	4.37	4.61	10.7	10.9	188
181	29/07/2010	12	01/08/2010	0	2.5595	4.85	5.72	14.5	14.7	205
182	10/08/2010	12	13/08/2010	12	2.975	5.33	5.94	12.6	12.1	204
183	17/09/2010	12	19/09/2010	0	1.4776	5.04	5.98	14.6	15.2	209

Nota: Os espaços em amarelo representam os temporais máximos independentes, extraídos através do programa AnaTorBo (Intervalo entre temporais de 7dias).

2. Ajustes às FDP's

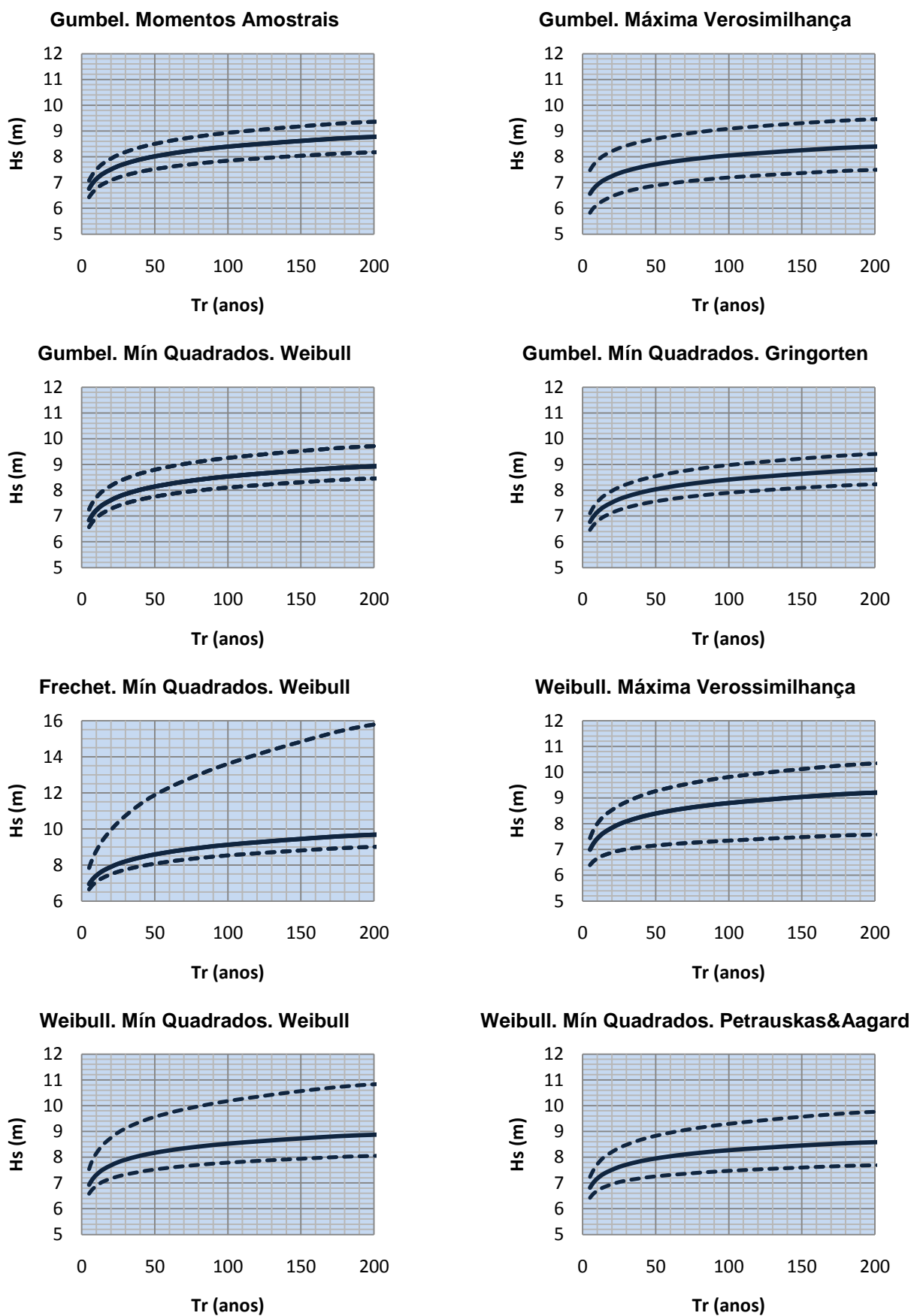


Figura 1 (A3-5). Representação gráfica dos ajustes às FDP's

ANEXO 4 : Resumo do Artigo Aceite para as 7^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária

CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA AO LARGO DE MAPUTO.

C. B. Guiloviça¹, T. C. A. Oliveira², J. Palalane¹, M. Grifoll²,

J. Gomez², Espino, M.²

¹*Departamento de Engenharia Civil (DEC), Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Av. Moçambique, Km 1.5, Maputo*

²*Laboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya, c/Jordi Girona 1-3, Campus Nord ed. D1, 08034 Barcelona, e-mail: tiago.oliveira@upc.edu*

SUMÁRIO

O bom conhecimento das condições de agitação e hidrodinâmica marítima que actuam sobre uma estrutura de protecção costeira ou portuária são fundamentais para o seu correcto dimensionamento tanto do ponto de vista de estabilidade como de funcionalidade.

Parâmetros estatísticos e espectrais de altura, período e direcção de onda, são necessários para as diferentes fases de uma obra marítima; estudo prévio, projecto, construção e exploração.

A zona costeira de Maputo assume um papel importante na economia da região e de Moçambique devido à sua demografia, actividade portuária, valor ambiental e interesse lúdico-turístico embora nos últimos anos tenha-se verificado nesta zona a degradação de algumas das estruturas marítimas com os consequentes impactos económicos, ambientais e sociais.

O objectivo deste trabalho é fazer a caracterização da agitação marítima ao largo de Maputo. Na ausência de dados de bóias e dados visuais que permitissem executar uma caracterização da agitação a longo prazo optou-se pela utilização de dados numéricos de retro-analise. Utilizaram-se resultados das predições oceânicas de escala global da NOAA/NWS/NCEP (National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, National Center for Environmental Prediction, as três dos Estados Unidos da America) que tem como base o modelo numérico WAVEWATCH III (Tolman, 2002) que utiliza dados do NCEP para definir as condições fronteira para o modelo.

Efectuou-se uma analise a longo prazo tanto do clima médio como extremo e estudaram-se quais as funções de distribuição de probabilidade para análise extrema (Lognormal, Exponencial, Weibull, Gumbel e Frechet) melhor se adaptam ao clima marítimo da região.

Os resultados serão apresentados com o objectivo de compreender que condições de agitação marítimas devem ser utilizadas no dimensionamento de estruturas (para diferentes períodos de retorno) bem como para estudos relacionados com transporte de sedimentos.

REFERÊNCIAS

Tolman, H. L., 2002. "User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22." NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 222, 133 pp.