



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

AGITAÇÃO MARÍTIMA A SUL DA EMBOCADURA DO RIO MONDEGO

LISBOA • julho de 2016

I & D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 1 - Proc. 0604/1307/19596 – **DHA/NEC**

Título

AGITAÇÃO MARÍTIMA A SUL DA EMBOCADURA DO RIO MONDEGO

Autoria

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

João Nuno Correia Oliveira

Estagiário, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Filipa S. de Brito F. de Oliveira

Investigadora Auxiliar, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Copyright © Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I. P.

Av. do Brasil 101 • 1700-066 Lisboa

e-mail: Inec@Inec.pt

www.Inec.pt

Relatório 1 - Proc. 0604/1307/19596

Proc. 0604/1307/19596

AGITAÇÃO MARÍTIMA A SUL DA EMBOCADURA DO RIO MONDEGO

Resumo

O presente estudo tem como objetivo caracterizar o regime de agitação marítima na zona costeira entre as embocaduras dos rios Mondego e Lis no período 1952-2010. Enquadra-se no âmbito de um estudo mais alargado, cujo objetivo é o estudo da dinâmica sedimentar costeira e a previsão da evolução futura da linha de costa do mesmo trecho.

A série cronológica compreende 59 anos de dados, de 1952 a 2010, resultando num total de 86200 trios de valores para os parâmetros Hs, Tp e Dir, indissociáveis na caracterização do regime de agitação marítima. Numa primeira fase, estimam-se as frequências de ocorrência relativas destes parâmetros por classes de intervalos semiabertos no limite superior e com amplitudes 0.50 m, 2 s e 10°, respetivamente, sendo consideradas para as direções escalões de 5° quando se justifica maior pormenor. São analisados os parâmetros estatísticos média, desvio-padrão, mínimo e máximo, e 1º, 2º e 3º quartis das séries temporais destes três parâmetros, correspondentes aos regimes geral e sazonais. A sazonalidade considerada tem por base o inverno marítimo, de outubro a março, e o verão marítimo, de abril a setembro, e a mensalidade, na qual a análise incide sobre cada mês individualmente e na inter-mensalidade.

Concluiu-se que a zona de estudo está sujeita a um regime geral de agitação marítima de elevada energia caracterizado por uma forte sazonalidade. Com características médias Hs 2.15 m, Dir 299.5°N e Tp 11.6 s, e Hs mais frequente de 1.00-1.50 m associada a Dir 300-310°N e Tp 8-10 s, o regime geral regista eventos máximos com Hs de 13.13 m. Eventos de Hs>5.00 m representaram 3.69% das ocorrências, sendo que Hs>9.50 m ocorreram exclusivamente para Dir 270-290°N e Tp 16-22 s, e os valores médio e máximo de Hs no inverno/verão marítimo foram 2.66/1.63 m e 13.13/8.32 m, respetivamente. Da análise mensal verificou-se que as médias de Hs e Tp são máximas em janeiro, 3.02 m e 14 s, respetivamente, e mínimas em julho, 1.39 m e 9 s, restringindo-se as médias mensais de Dir a 289-311°N, com as obliquidades extremas, oeste/noroeste (289/311°N), em janeiro/agosto. Da comparação com outros estudos concluiu-se que a sazonalidade e anos atípicos influenciam as análises baseadas em períodos restritos e que uma análise baseada numa série temporal de dados de agitação marítima muito longa robustece a representatividade dos parâmetros expostos neste estudo.

Palavras-chave: Costa oeste Portuguesa, Agitação marítima, Figueira da Foz.

WAVE CLIMATE SOUTH OF MONDEGO RIVER MOUTH

Abstract

The present study aims characterizing the wave climate in the coastal zone between the Mondego river inlet and the Lis river inlet in the period 1952-2010. It is part of a wider scope study, which goal is studying the coastal stretch sediment dynamics and forecasting its coastline future evolution.

The 59-year time series, from 1952 to 2010, has a total number of 86200 trio values, corresponding to the wave climate characterization parameters H_s , T_p , and Dir . In a first stage, the relative frequency of occurrence of these three parameters is estimated by classes of semi-open intervals in the upper limit with amplitudes 0.50 m, 2 s and 10° , respectively, being, however, considered smaller amplitudes of Dir , of 5° , when a detailed analysis is necessary. In a second stage, the statistic parameters average, standard deviation, 1st, 2nd and 3rd quartiles of the respective time series are analysed for the general and seasonal wave regimes. The seasonality was analysed for the maritime winter, from October to March, and the maritime summer, from April to September, and monthly.

It was concluded that the study zone is subjected to a high energy wave climate characterized by a strong seasonality. With average values of $H_s=2.15$ m, $Dir=299.5^\circ N$ and $T_p=11.6$ s, and H_s most frequent class of 1.00-1.50 m, associated to Dir 300-310 $^\circ N$ and T_p 8-10 s, the general regime has records of maximum H_s equal to 13.13 m. Events with $H_s>5.00$ m correspond to 3.69% of the occurrences and with $H_s>9.50$ m occur exclusively for Dir 270-290 $^\circ N$ and T_p 16-22 s. The average and maximum values of H_s in the winter/summer seasons were 2.66/1.63 m and 13.13/8.32 m, respectively. From the monthly analysis it was concluded that the highest average values of H_s and T_p , 3.02 m e 14 s respectively, occur in January and the lowest average values, 1.39 m e 9 s respectively, occur in July, being the monthly average values of Dir restricted to 289-311 $^\circ N$, with extreme obliquity, west/northwest (289/311 $^\circ N$), in January/August. From the comparison with other studies it was concluded that the seasonality and atypical years influence the analysis based on restricted periods and that a long time series based analysis strengthens the representativeness of the wave climate parameters analysed in the present study.

Keywords: Portuguese west coast, Wave climate, Figueira da Foz.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento, objetivo e zona de estudo	1
1.2	Organização do relatório.....	3
2	Dados e método	4
3	Resultados	5
3.1	Regime geral.....	5
3.2	Sazonalidade	10
3.2.1	Variabilidade inverno-verão	10
3.2.2	Variabilidade mensal.....	13
4	Comparação com outros estudos	17
4.1	Período 1954-1960	18
4.2	Período 1984-1996	19
4.3	Período 1995-1996	23
4.4	Período 1989-1998	24
5	Conclusões.....	27
	Referências	28
	Anexo	31

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Localização da zona de estudo.	1
Figura 3.1 – Histogramas de Hs e Tp relativos ao regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.	6
Figura 3.2 – Histograma polar de Dir em classes de 5°, relativo ao regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.	6
Figura 3.3 – Histograma conjunto Dir-Hs, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, relativo ao regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.	8
Figura 3.4 – Histograma conjunto Tp-Hs, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, relativo ao regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.	9
Figura 3.5 – Histograma conjunto Dir-Tp, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, relativo ao regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.	10
Figura 3.6 – Histograma duplo (inverno e verão marítimos) de Hs.	12
Figura 3.7 – Histograma duplo (inverno e verão marítimos) de Tp.	12
Figura 3.8 – Histograma duplo (inverno e verão marítimos) e histograma polar de Dir, com referência à orientação média da linha de costa (LC), 19.5°N.	12
Figura 3.9 – Histogramas polares de Dir em classes de 5°, relativos ao inverno e verão marítimos.	13
Figura 3.10 – Média e quartis (escala da esquerda), e desvio-padrão (escala da direita) mensais relativos a Hs (a), Tp (b) e Dir (c), para o regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.	15
Figura 4.1 – Histograma duplo, comparativo de Hs no período total.	20
Figura 4.2 – Histograma duplo, comparativo de Dir no período total.	20
Figura 4.3 – Histograma duplo, comparativo de Hs no inverno marítimo.	22
Figura 4.4 – Histograma duplo, comparativo de Dir no inverno marítimo.	22
Figura 4.5 – Histograma duplo, comparativo de Hs no verão marítimo.	23
Figura 4.6 – Histograma duplo, comparativo de Dir no verão marítimo.	23
Figura A.1 – Histogramas mensais de Hs relativos ao clima de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.	33
Figura A.2 – Histogramas mensais de Tp relativos ao clima de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.	34
Figura A.3 – Histogramas polares de Dir, em classes de 5°, relativos ao clima de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.	35
Figura A.4 – Histograma conjunto Dir-Hs, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, do regime observado ao largo na Figueira da Foz (Capitão <i>et al.</i> , 1997) no período de 1984 a 1996.	36
Figura A.5 – Histograma conjunto Dir-Hs, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, relativo ao regime de agitação marítima do presente estudo no período de 1984 a 1996.	37

Índice de Quadros

Quadro 3.1 – Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Tp e Dir no regime geral.....	5
Quadro 3.2 – Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Tp e Dir, no período de inverno marítimo.	10
Quadro 3.3 – Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Tp e Dir, no período de verão marítimo.	11
Quadro 3.4 – Parâmetros estatísticos mensais relativos a Hs, Tp e Dir, para o regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.	14
Quadro 4.1 – Clima de agitação marítima ao largo do porto da Figueira da Foz de 1954 a 1960 (7 anos).....	18
Quadro 4.2 – Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Dir e Tp do regime geral (1984-1996), do presente estudo.	20
Quadro 4.3 – Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Dir e Tp no inverno marítimo (1984-1996), do presente estudo.	21
Quadro 4.4 - Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Dir e Tp no verão marítimo (1984-1996), do presente estudo.	23
Quadro 4.5 – Valores médios de Hs e Dir nos períodos 1995-96 e 1989-98.	25

1 | Introdução

1.1 Enquadramento, objetivo e zona de estudo

O presente estudo enquadra-se no âmbito do Programa “E2I – Estratégia de Investigação e Inovação 2013-2020”, mais precisamente no eixo estruturante “E3 – Recursos naturais: inteligência na valorização do ambiente” e temática prioritária “T1 – Sustentabilidade e alterações climáticas” da sua matriz programática.

O objetivo do estudo é caracterizar o regime de agitação marítima na zona costeira entre as embocaduras dos rios Mondego e Lis (Figura 1.1) no período 1952-2010. Pretende-se que os resultados sirvam de base a um futuro estudo sobre a dinâmica sedimentar costeira e a previsão da evolução futura da linha de costa do mesmo trecho.

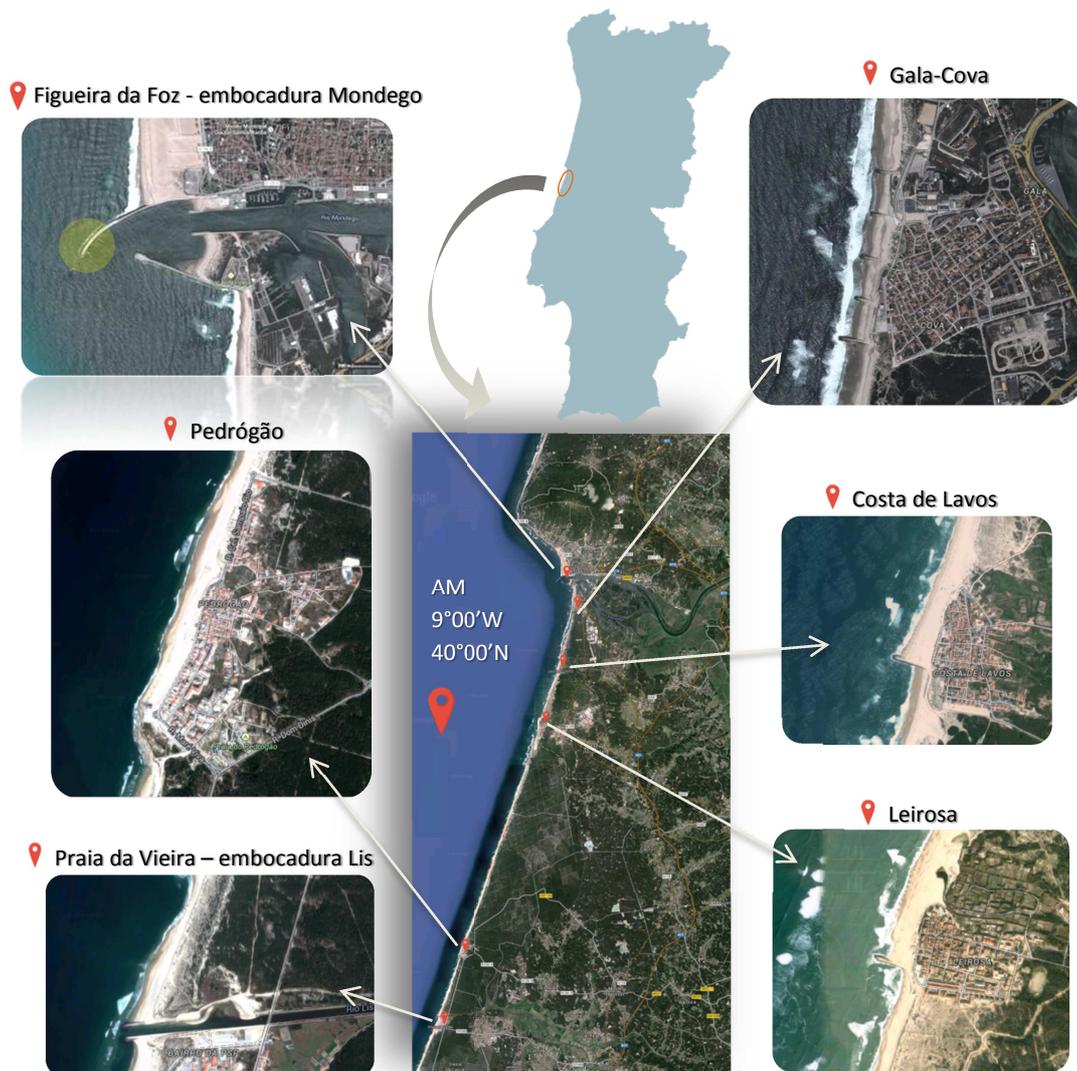


Figura 1.1 – Localização da zona de estudo.

O trecho litoral sobre o qual incide este estudo situa-se na zona centro-ocidental de Portugal (Figura 1.1). Trata-se da unidade fisiográfica delimitada a norte pela embocadura do rio Mondego, com os seus dois molhes (40°8'45" N e 8°52'42" O), e a sul pela embocadura do rio Lis, regularizada com dois pequenos esporões (39°52'50" N e 8°58'18" O). Caracteriza-se pela existência de praia natural em toda a sua extensão, interrompida por um afloramento rochoso em Pedrógão.

As obras costeiras que conferiram à embocadura do rio Mondego o seu aspeto atual iniciaram-se em 1929, de acordo com Dias *et al.* (1994), como parte integrante de um Plano Portuário adotado a nível nacional. Entre outras intervenções, destacam-se a construção do molhe norte com 900 m de comprimento, posteriormente prolongado em 400 m, convergente com o molhe a sul com 950 m de comprimento, resultando numa largura da embocadura de 325 m, com a cabeça dos molhes localizada na batimétrica -8 m ZH. Para conferir ao porto a operacionalidade necessária, dragagens regulares tornaram-se necessárias na zona da barra, no anteporto e no canal anterior, devido ao assoreamento de sedimentos com principal proveniência marinha. Segundo Abecasis *et al.* (1970), o molhe norte ficou concluído em 1965 e, a partir de 1960, verificou-se a norte da embocadura um acentuado avanço da linha de costa (LC), com taxas de acumulação de aproximadamente 30 m/ano junto ao molhe (Duarte e Reis, 1992). Em contrapartida, os efeitos de erosão a sul da foz foram imediatos com um agravamento no recuo da LC que chegou a atingir, junto à Cova, 30 m/ano em 1976 (Duarte e Reis, 1992).

Na Figura 1.1 destacam-se as diversas estruturas de estabilização da LC e proteção dos aglomerados populacionais existentes na zona de estudo (ZE): Gala-Cova, Costa de Lavos, Leirosa, Pedrógão e Vieira de Leiria. A evolução morfológica deste trecho foi fortemente influenciada pelas intervenções antrópicas efetuadas desde meados do século passado (Oliveira e Brito, 2015): a construção dos molhes da embocadura (1961-1965); a extração de areia na praia da Figueira da Foz (1973-1996); dragagens da embocadura para acesso ao porto; intervenções de regularização fluvial e portuária; a alimentação artificial pontual 50 m a sul do enraizamento do molhe sul (1973-1975); a construção das defesas longitudinais aderentes da Gala-Cova, Lavos, Leirosa e Pedrógão (1975-1979); a construção do esporão da Leirosa (1978), do esporão da Costa de Lavos (1979) e do campo de cinco esporões da Gala-Cova (1979); e, por último, o prolongamento do molhe norte da embocadura do rio Mondego (2008-2010).

A dinâmica marinha na costa portuguesa é condicionada pela circulação atmosférica a oeste, no Atlântico, sendo a ondulação mais frequente de direção NW, com o anticiclone próximo dos Açores. A ondulação de W e SW não ocorre tão frequentemente e está associada a focos depressionários e à passagem das respetivas superfícies frontais. A costa ocidental encontra-se sujeita à atuação de temporais com alguma frequência, sendo a agitação marítima por eles gerada responsável pela mobilização de uma grande quantidade de sedimentos existentes na praia emersa em direção ao largo, que posteriormente podem, ou não, ser repostos na face de praia. Cunha (1999) destaca que temporais com ondas de altura significativa máxima de 9.5-10.0 m têm um período de retorno de 5 anos e que com um período de retorno de 50 anos se estimam alturas máximas de 11.5-13.6 m. O mesmo autor refere que “as situações de tempestade que resultam de baixas pressões ligadas à

passagem de perturbações atmosféricas são acompanhadas de significativa sobrelevação meteorológica do nível do mar, permitindo que a ondulação possa atingir áreas mais interiores”, o que se torna mais relevante quando coincide com a preia-mar de águas vivas.

Relativamente ao regime de marés da zona da Figueira da Foz, Cunha e Dinis (1998) procedem à sua caracterização: regime mesomareal, de tipo semidiurno e com uma ligeira desigualdade entre as duas marés diárias; de amplitude média de 2,2 m (desvio padrão de 0,62) e moda de 2,4 m (com base na tabela de marés previstas para o Porto da Figueira da Foz durante o ano de 1996), verificando-se uma amplitude mínima de 0,9 m (maré morta) e a máxima de 3,6 m (maré viva equinocial), correspondendo o nível médio de maré (NMM) aos +2 m do nível de zero hidrográfico (ZH).

O severo regime de agitação marítima a que está sujeita a extensa costa arenosa em estudo resulta num equilíbrio dinâmico precário (Cunha e Dinis, 1998). A orla costeira da Figueira da Foz, segundo os autores, está sujeita a uma agitação marítima em que a ondulação tem altura mais frequente da ordem de 1 a 2 m (41.9%) e rumo predominante WNW, com 44.7% das ocorrências no verão, 28.9% nos períodos de transição e 22.6% no inverno. Estes e outros resultados de diversos estudos anteriores relativos à caracterização da agitação marítima em frente à ZE serão comparados, no Capítulo 4, com os resultados obtidos no presente estudo.

1.2 Organização do relatório

O presente relatório encontra-se organizado em cinco capítulos de texto principal mais dois capítulos não numerados, que são as Referências e o Anexo.

No presente capítulo faz-se o enquadramento do estudo, indica-se o seu objetivo e apresenta-se a zona de estudo. No capítulo dois descrevem-se os dados e método utilizados no desenvolvimento do estudo. No capítulo três descrevem-se os resultados obtidos de forma estruturada: numa primeira fase analisou-se o regime geral e numa segunda fase a sazonalidade do regime, tendo esta sido abordada nas duas componentes, variabilidade inverno-verão e variabilidade mensal. No capítulo quatro comparam-se os resultados deste estudo com resultados obtidos no âmbito de estudos anteriores, realizados com base em series temporais de agitação marítima mais curtas e englobadas no período de análise. Em Anexo apresentam-se resultados adicionais que completam e enriquecem os conteúdos apresentados nos capítulos acima descritos.

Neste relatório adotou-se o ponto, em vez de vírgula, como separador decimal.

Por último, salienta-se que, no decorrer do trabalho desenvolvido, foram elaborados dois artigos de conferência, apresentados publicamente na “3ª Conferência sobre morfodinâmica estuarina e costeira”, na Universidade do Algarve, em maio de 2015 (Oliveira *et al.*, 2015), e nas “4ªs Jornadas de Engenharia Hidrográfica”, no Instituto Hidrográfico em Lisboa, em junho de 2016 (Oliveira *et al.*, 2016).

2 | Dados e método

Com base na aplicação de um modelo espectral de geração e propagação de ondas marítimas ao nordeste do Oceano Atlântico por Dodet *et al.* (2010), com uma resolução espacial de 0.5° e um passo temporal de 6 horas, obteve-se a série temporal dos parâmetros altura significativa (Hs), período de pico (Tp) e direção média de incidência ou rumo (Dir), no ponto de coordenadas geográficas $40^\circ 00' N$ e $9^\circ 00' W$, equivalente a $(-74027.72 m; 37193.75 m)$ no sistema de coordenadas ETRS89 (indicado na Figura 1.1 da Secção 1.1), a -37 m ZH, centrado em frente ao trecho de estudo. O modelo foi validado pelos autores com observações das bóias-ondógrafo de Bilbao-Vizcaya, Cabo Sillero, Leixões, Figueira da Foz, Sines e da *Ocean Weather Station "Juliett"*, destacando-se a validação pela bóia da Figueira da Foz (período 1993-1995), para a qual se obtiveram os parâmetros estatísticos erro quadrático médio e viés (inferior a zero se a média é subestimada pelo modelo) de 0.45 e -0.14 m para Hs, 1.60 e -0.38 s para e 14.98 e 0.93° para Dir.

A série cronológica compreende 59 anos de dados, de 1952 a 2010, resultando num total de 86200 trios de valores para os parâmetros Hs, Tp e Dir, indissociáveis na caracterização do regime de agitação marítima, sobre os quais se estimam as frequências relativas por classes de intervalos semiabertos no limite superior e com amplitudes 0.50 m, 2 s e 10° , respetivamente, sendo consideradas para as direções escalões de 5° quando se justifica maior pormenor. São analisados os parâmetros estatísticos média, desvio-padrão, mínimo e máximo, e 1° , 2° e 3° quartis das séries temporais destes três parâmetros, correspondentes aos regimes geral e sazonais. A sazonalidade considerada tem por base o inverno marítimo, de outubro a março, e o verão marítimo, de abril a setembro, e a mensalidade, na qual a análise incide sobre cada mês individualmente e na inter-mensalidade. Futuramente, será também analisada a variabilidade interanual do regime geral através do cálculo do caudal sólido longitudinal potencial, recorrendo à modelação numérica do transporte sedimentar (aplicação do módulo computacional *LITDRIFT*).

Na elaboração dos diagramas conjuntos não foram consideradas as classes de Dir superiores a $19.6^\circ N$ (orientação média da linha de costa da zona de estudo) e inferiores a $199.6^\circ N$ por se tratarem de direções provenientes de terra. No entanto, avaliou-se o impacte da exclusão dos trios de Hs, Tp e Dir na distribuição estatística dos mesmos parâmetros. Salienta-se que uma única ocorrência representa, num universo de 86 200 observações, aproximadamente 0.00116009%. Concluiu-se, da referida análise, que os trios excluídos não têm dimensão relevante para as conclusões da análise em curso, pois representam apenas 0.35% dos eventos.

3 | Resultados

3.1 Regime geral

Nesta secção, faz-se a caracterização do regime de agitação marítima para os 59 anos do período em análise, denominado regime geral, na zona de estudo. Baseia-se na análise dos parâmetros estatísticos média, desvio-padrão, mínimo e máximo, e 1º, 2º e 3º quartis, dos parâmetros de agitação marítima Hs, Tp e Dir (Quadro 3.1), nos histogramas de frequência relativa de Hs, Tp e Dir (Figuras 3.1 e 3.2), e nos histogramas conjuntos Dir-Hs, Tp-Hs e Dir-Tp (Figuras 3.3, 3.4 e 3.5, respetivamente), que permitem uma análise mais aprofundada relativamente à relação direta entre a distribuição estatística dos parâmetros de agitação marítima.

Quadro 3.1 – Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Tp e Dir no regime geral.

	Média	Desvio-padrão	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Mínimo	Máximo
Hs [m]	2.15	1.23	1.31	1.78	2.64	0.33	13.13
Tp [s]	11.5	2.6	9.5	11.4	13.4	3.0	25.5
Dir [°N]	299.5	25.1	289.4	301.2	312.9	0.1	360.0

No ponto de referência, a agitação marítima é caracterizada por uma altura significativa média de 2.15 m, predominando a classe Hs 1.00-1.50 m (25.64%); um período de pico médio de 11.6 s, predominando a classe Tp 10-12 s (27.24%); e um valor médio da direção média incidente de 299.5°N, sendo Dir 300-305°N (NW) a classe predominante (11.60%).

O desvio-padrão para o parâmetro Hs é menor que para os outros parâmetros, 1.23 m em comparação com 2.6 s (Tp) e 25.1° (Dir), significando que as alturas significativas se afastam menos da média de 2.15 m do que variam os períodos de pico e os rumos em relação aos seus valores médios, 11.6 s e 299.5°N, respetivamente (Quadro 3.1). A análise deste parâmetro é mais relevante quando comparando a mesma grandeza em diferentes períodos, como apresentado na análise da sazonalidade.

O 1º quartil, a mediana e o 3º quartil dividem a distribuição em quatro partes iguais, acumulando até si, respetivamente, 25%, 50% e 75% dos dados. O âmbito entre o 1º e 3º quartis compreende 50% das observações totais, não incluindo as 25% ocorrências mais reduzidas nem as 25% mais elevadas. Em termos de Hs, 50% das ocorrências verificam-se entre 1.31 e 2.64 m e têm mediana 1.78 m. Para Tp e Dir, respetivamente, 50% das ocorrências verificam-se nos intervalos 9.5-13.4 s e 289.4-312.9°N, e têm medianas 11.4 s e 301.2°N.

Da análise dos histogramas apresentados nas Figuras 3.1 e 3.2, conclui-se o seguinte:

- As classes de Hs mais frequentes são 1.00-1.50 m (25.64%), 1.50-2.00 m (23.32%), 2.00-2.50 m (13.50%) e 0.50-1.00 m (9.58%).

- Alturas significativas menores que 2.00 m têm uma frequência relativa de 58.75% e menores que 4.00 m perfazem 91.55% das ocorrências, ascendendo a 99.05% para Hs até 6.50 m. Apenas 3.69% das ocorrências têm Hs superior a 5.00 m.
- As classes de Tp mais frequentes são 10-12 s (27.24%), 12-14 s (26.97%) e 8-10 s (20.80%).
- Períodos de pico menores que 6 s têm uma frequência relativa de 0.52% e Tp menores que 12 s perfazem 56.31% das ocorrências, ascendendo a 98.91% para Tp até 18 s. Apenas 5.50% das ocorrências têm Tp superior a 16 s.
- As classes de Dir mais frequentes são 300-310°N (22.61%), 290-300°N (21.03%), 310-320°N (16.21%), 280-290°N (13.77%) e 320-330°N (9.36%).
- Na classe de direções 300-305°N verifica-se o maior número de ocorrências (11.60%), sendo que o clima de agitação apresenta maioritariamente rumos no intervalo 270-330°N (90%): 20% de ocorrências com obliquidade para sul e 70% para norte comparativamente à direção perpendicular à linha de costa (289.5°N).

As classes de calma, considerando Hs inferior a 1.00 m, representam 9.79% das ocorrências. As situações de temporal com Hs superior a 5.00 m representam 3.69% das ocorrências.

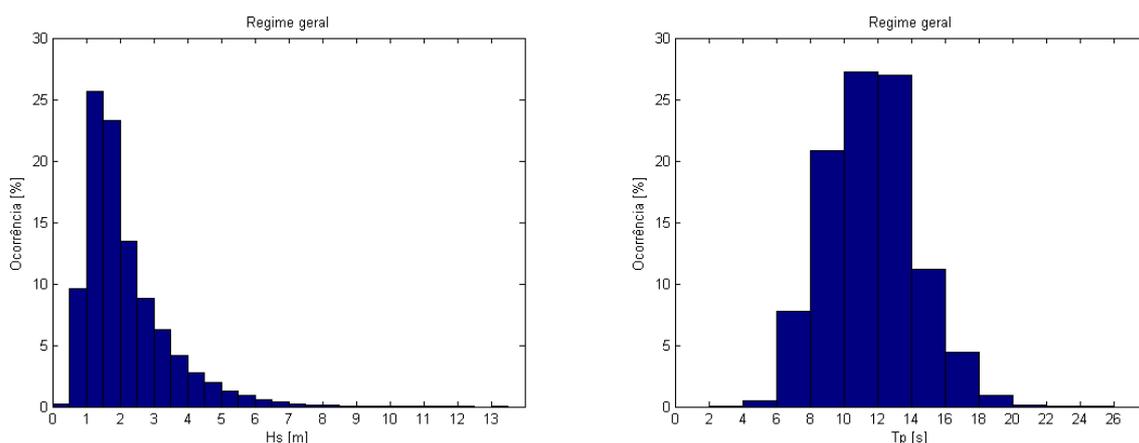


Figura 3.1 – Histogramas de Hs e Tp relativos ao regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.

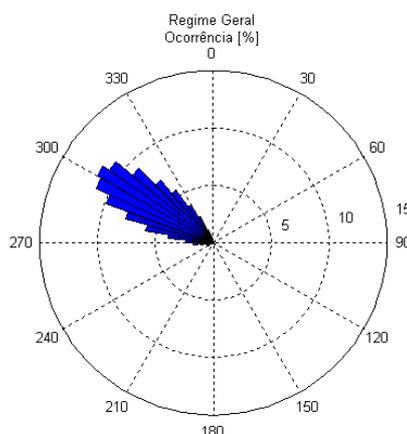


Figura 3.2 – Histograma polar de Dir em classes de 5°, relativo ao regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.

Os histogramas conjuntos consistem na atribuição de pares do trinómio de parâmetros de agitação marítima às respetivas classes, resultando uma grelha em que cada célula representa o número de ocorrências verificadas para essa combinação de classes. As células não preenchidas representam intervalos em que não foram medidas ocorrências simultâneas nas duas classes.

Com base no histograma conjunto Dir-Hs (Figura 3.3), observa-se que cerca de 53% das ocorrências se enquadram no intervalo definido pelas classes Dir 280-330°N e Hs 1.00-2.50 m, e 90% em Dir 260-340°N e Hs 0.50-4.50 m.

Pelo histograma conjunto Tp-Hs (Figura 3.4), 52% das ocorrências enquadram-se nas classes Tp 8-14 s e Hs 1.00-2.50 m, e 90% em Tp 6-16 s e Hs 0.50-4.50 m.

A análise conjunta de Dir-Tp (Figura 3.5) revela que cerca de 56% das ocorrências se enquadram nas classes Dir 280-320°N e Tp 8-16 s, e 92% em Dir 270-340°N e Tp 6-18 s.

Interligando a informação dos vários histogramas conjuntos, verifica-se o seguinte:

- Hs mais elevada ocorre essencialmente no intervalo de direções W-WNW, sendo a ocorrência de Hs ≥ 9.50 m exclusiva às classes de Dir entre 270-290°N e Tp entre 16-22 s.
- Predomina Dir na classe 300-310°N, com aproximadamente 23% das ocorrências, maioritariamente associada a Hs entre 1.00-1.50 m, classe com 6.08% das ocorrências, e Tp entre 10-12 s, com 6.52%.
- Predomina Hs na classe 1.00-1.50 m, com aproximadamente 26% das ocorrências, maioritariamente associada a Tp entre 8-10 s, classe com 9.74% das ocorrências, e Dir entre 300-310°N, com 6.08%.
- Predomina Tp na classe 10-12 s, com aproximadamente 27% das ocorrências, maioritariamente associado a Hs entre 1.50- 2.00 m, classe com 8.88% das ocorrências, e Dir entre 300-310°N, com 6.52%.

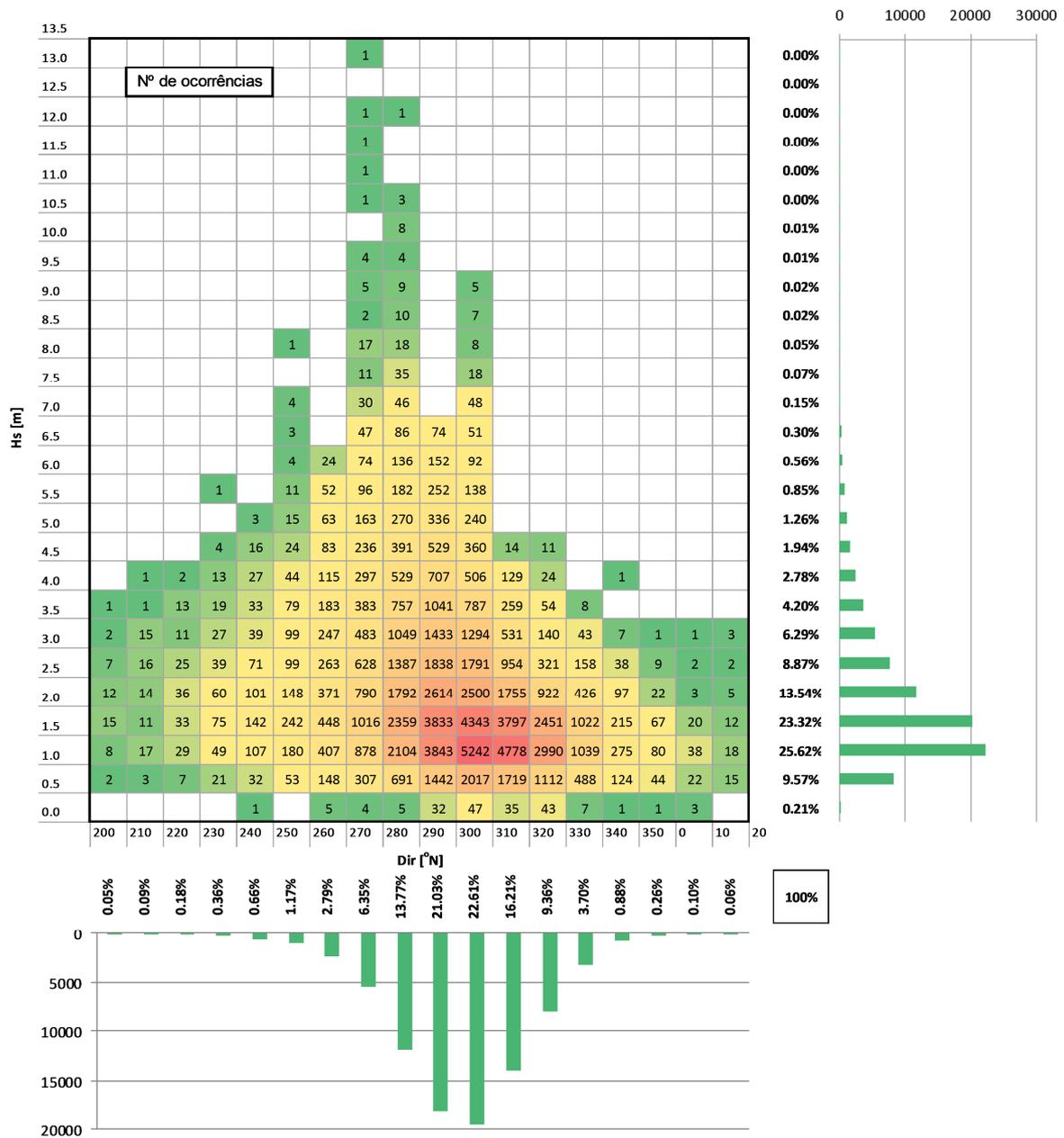


Figura 3.3 – Histograma conjunto Dir-Hs, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, relativo ao regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.

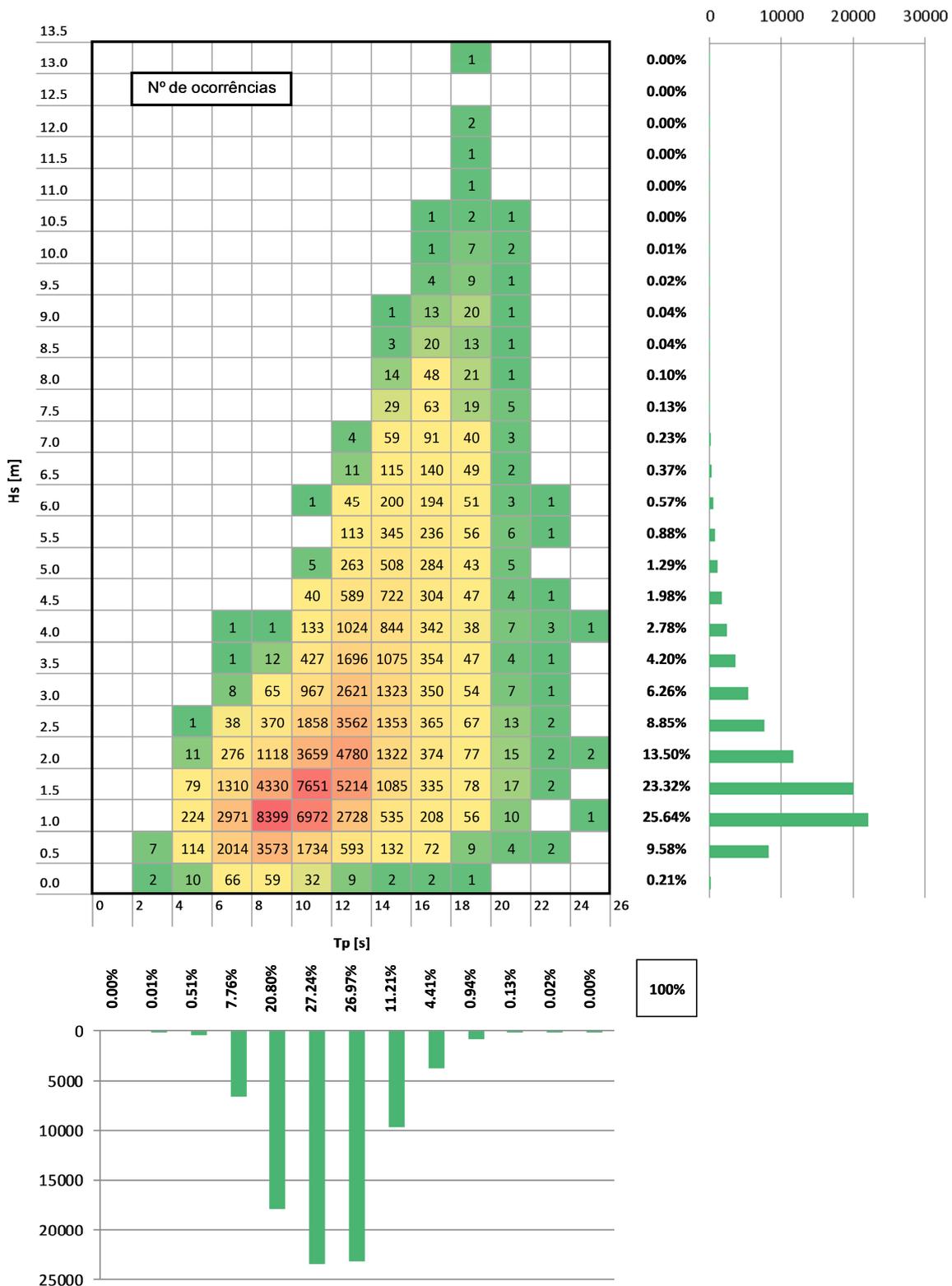


Figura 3.4 – Histograma conjunto Tp-Hs, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, relativo ao regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.

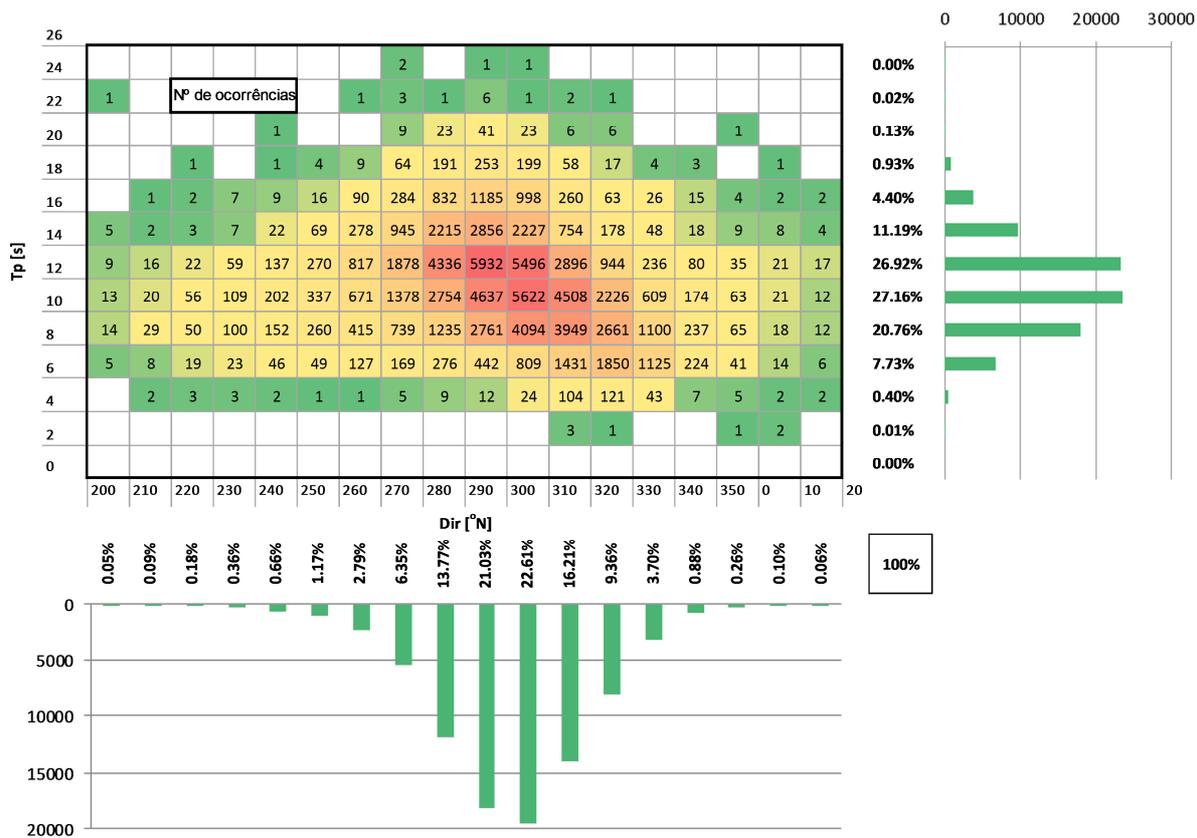


Figura 3.5 – Histograma conjunto Dir-Tp, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, relativo ao regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.

3.2 Sazonalidade

3.2.1 Variabilidade inverno-verão

Nesta secção aprofunda-se o estudo da agitação marítima ao nível da sazonalidade inverno-verão marítimos. À semelhança da análise anterior, a variabilidade sazonal é averiguada com base na análise estatística de Hs, Tp e Dir, relativos aos períodos de inverno e de verão marítimo (Quadro 3.2 e Quadro 3.3, respetivamente). Apresentam-se os histogramas duplos de frequências relativas inverno-verão de Hs, Tp e Dir (Figuras 3.6, 3.7 e 3.8, respetivamente), nas classes de 0.50 m, 2 s e 10°N, respetivamente, complementando a análise dos rumos com histogramas circulares de Dir em classes de 5° para o inverno e verão marítimos (Figura 3.9).

Quadro 3.2 – Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Tp e Dir, no período de inverno marítimo.

	Média	Desvio-padrão	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Mínimo	Máximo
Hs [m]	2.66	1.40	1.65	2.33	3.36	0.33	13.13
Tp [s]	12.9	2.3	11.4	12.8	14.5	3.0	25.5
Dir [°N]	293.4	29.5	284.5	295.6	306.4	0.1	360.0

Quadro 3.3 – Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Tp e Dir, no período de verão marítimo.

	Média	Desvio-padrão	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Mínimo	Máximo
Hs [m]	1.63	0.73	1.15	1.48	1.89	0.35	8.32
Tp [s]	10.2	2.1	8.5	10.0	11.4	3.3	22.0
Dir [°N]	305.6	17.8	296.0	306.8	317.1	0.3	359.8

No inverno marítimo, a costa está sujeita a uma agitação marítima caracterizada por uma altura significativa média de 2.66 m, embora sejam mais frequentes alturas da classe 1.50-2.00 m (19.4%); um período de pico médio de 12.9 s, predominando Tp na classe 12-14 s (38.9%); e um valor médio da direção média incidente de 293.4°N, sendo 290-300°N a classe de Dir mais frequente (24.4%).

Da análise dos quartis, no inverno, conclui-se 50% das ocorrências de Hs se situam entre 1.65 e 3.36 m, sendo a mediana 2.33 m. Para Tp e Dir, respetivamente, 50% das ocorrências situam-se entre 11.4-14.5 s e 284.5-306.4°N, e têm medianas 12.8 s e 295.6°N.

No verão, Hs tem média de 1.63 m, sendo mais frequente a classe 1.00-1.50 m (36.6%). O Tp médio é 10.2 s, sendo mais frequente a classe 8-10 s (35.0%). A Dir média é de 305.6°N, sendo 300-310°N a classe de Dir predominante (25.0%).

Da análise dos quartis, no verão, conclui-se que, para Hs, 50% das ocorrências se situam entre 1.15 e 1.89 m, sendo a mediana 1.48 m. Para Tp e Dir, respetivamente, 50% das ocorrências situam-se entre 8.5-11.4 s e 296.0-317.1°N, e as medianas são 10.0 s e 306.8°N.

Sendo a orientação da perpendicular à linha de costa 289.5°N, em relação a esta direção, a média dos rumos está rodada para norte 3.9° no inverno e 16.1° no verão.

Observa-se ainda o seguinte:

- Os valores de Hs mais elevados predominam no inverno, como seria de esperar. Com efeito, o número de ocorrências no inverno de $H_s \geq 4.00$ m é de 15.56%, enquanto no verão essa percentagem se reduz a 1.36%. Verifica-se ainda que no inverno as alturas de onda mais frequentes variam entre 1.00 e 2.50 m, enquanto no verão variam entre 0.50 e 2.00 m.
- As classes de Hs mais frequentes no inverno são 1.50-2.00 m (19.4%), 2.00-2.50 m (16.1%) e 1.00-1.50 m (14.6%), e no verão são 1.00-1.50 m (36.6%), 1.50-2.00 m (27.2%) e 0.50-1.00 m (14.5%).
- No inverno marítimo, aproximadamente 75% das ocorrências de Hs enquadram-se entre 1.00-3.50 m, enquanto no verão a mesma percentagem ocorre no intervalo 0.50-2.00 m.
- Os valores de Tp mais elevados são mais frequentes no inverno. Neste período, predominam as classes 12-14 s (38.9%), 10-12 s (23.9%) e 14-16 s (19.0%), enquanto no verão as classes mais frequentes são 8-10 s (35.0%), 10-12 s (30.6%), 12-14 s (15.1%) e 6-8 s (14.1%).
- No inverno marítimo, aproximadamente 80% das ocorrências de Tp enquadram-se entre 10-16 s, enquanto no verão a mesma percentagem ocorre no intervalo 6-12 s.
- Verifica-se que, para o inverno, os valores de Dir mais frequentes se situam na classe 290-300°N, com 24.4% das ocorrências, seguida de 300-310°N (20.2%) e 280-290°N

(18.6%), ao passo que para o verão se situam na classe 300-310°N, com 25.0% das ocorrências, seguida de 310-320°N (22.3%) e 290-300°N (17.6%).

- Analisando os registos de rumos, a direção comum mais frequente no conjunto das duas estações é 300°N, com as restantes ocorrências oblíquas para sul no inverno, 73.4% no intervalo 280-310°N, e para norte no verão, 78.5% no intervalo 290-320°N.

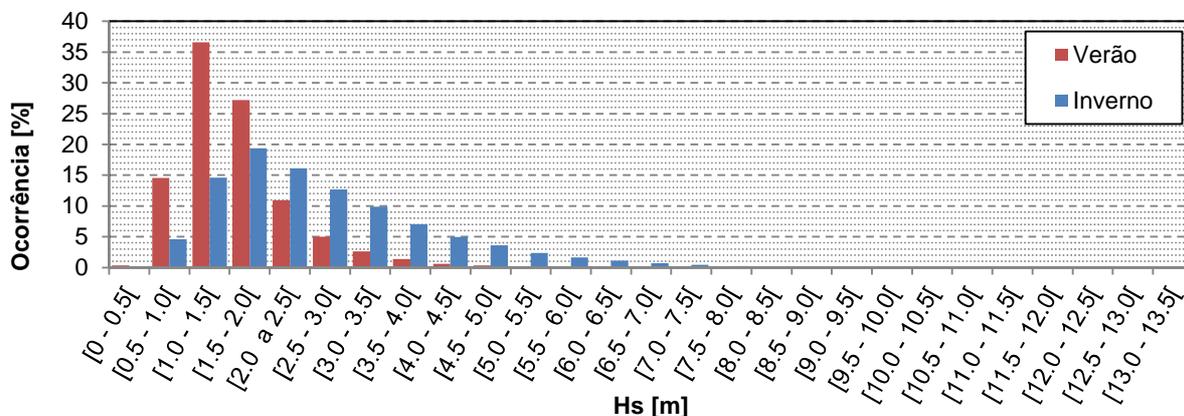


Figura 3.6 – Histograma duplo (inverno e verão marítimos) de Hs.

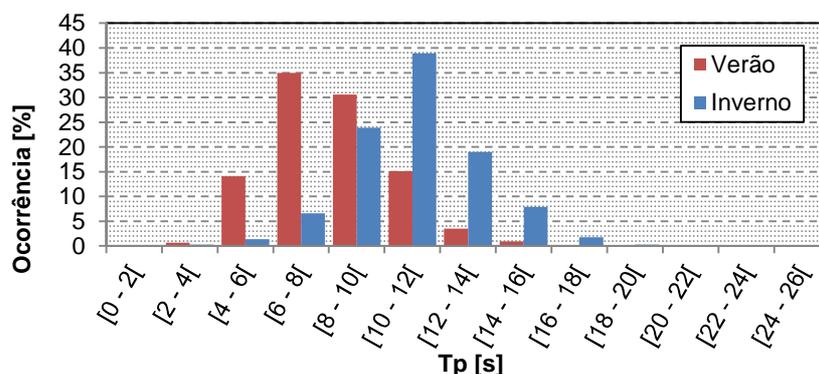


Figura 3.7 – Histograma duplo (inverno e verão marítimos) de Tp.

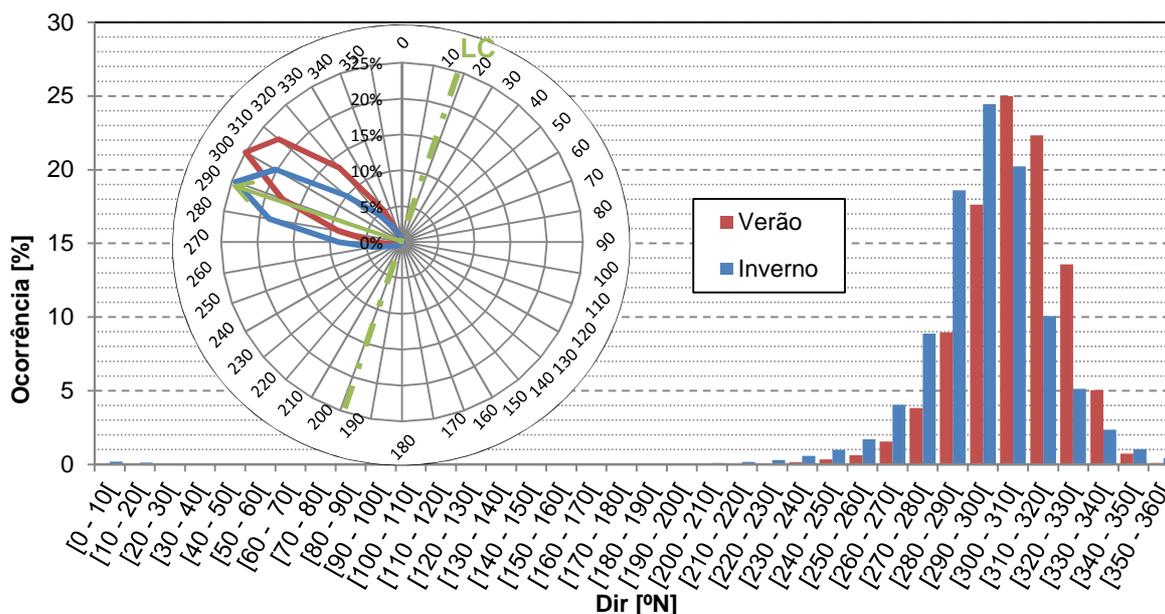


Figura 3.8 – Histograma duplo (inverno e verão marítimos) e histograma polar de Dir, com referência à orientação média da linha de costa (LC), 19.5°N.

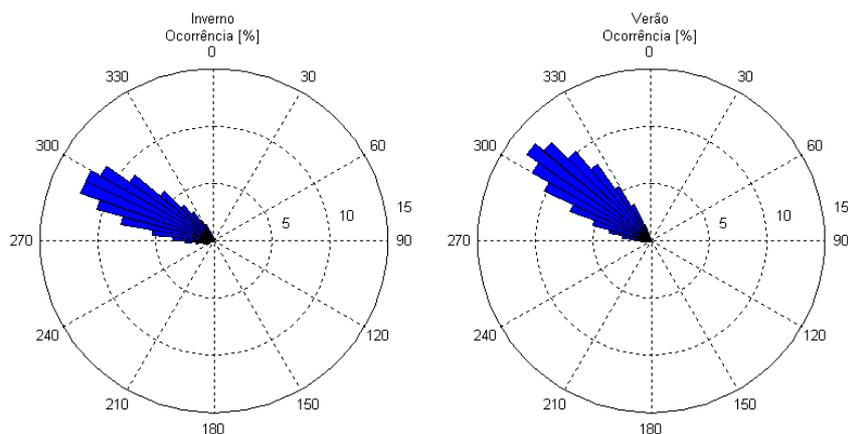


Figura 3.9 – Histogramas polares de Dir em classes de 5°, relativos ao inverno e verão marítimos.

3.2.2 Variabilidade mensal

O foco na variação mensal dos parâmetros Hs, Tp e Dir, após a análise do regime geral e da sazonalidade, permite compreender certos comportamentos cíclicos que se repetem em determinados períodos mais restritos do ano. Note-se que o regime em análise é o mesmo e, portanto, não se justifica examinar com minúcia alguns pontos atrás referidos, evitando cair na repetição sem acrescentar algo relevante à caracterização em curso. É por isso importante avaliar a evolução dos parâmetros de mês para mês e situar temporalmente determinadas ocorrências relevantes.

No Quadro 3.4 apresentam-se os parâmetros estatísticos já mencionados: média, desvio-padrão, mínimo e máximo, e 1º, 2º e 3º quartis; encontrando-se os valores mais reduzidos e mais elevados de cada mês representados a verde e a vermelho, respetivamente. Para uma melhor perceção da variação mensal, os valores da média, 1º e 3º quartis e desvio-padrão representam-se graficamente para Hs, Tp e Dir na Figura 3.10. Os histogramas de frequências relativas de cada mês apresentam-se para os parâmetros Hs, Tp e Dir, respetivamente, nas Figuras A.1, A.2 e A.3 do Anexo.

Relativamente a Hs, constata-se o seguinte:

- É em janeiro que se observa o máximo valor das Hs máximas mensais e é também nesse mês que se observa o mínimo valor das Hs mínimas mensais, sendo o mês de maior amplitude de ocorrências. O mínimo valor das Hs máximas mensais observa-se em julho e o máximo valor das Hs mínimas mensais observa-se em dezembro.
- A média das alturas é máxima em janeiro, 3.02 m, e mínima em julho, 1.39 m, variando de forma distribuída pelos meses intermédios. É também em julho que se verifica o menor valor de desvio-padrão (0.45 m), significando que é nesse mês que as ocorrências mais se concentram em torno da média, opondo-se ao mês de dezembro (1.54 m), no qual existe uma maior dispersão de observações em relação à tendência central desse mês (2.89 m).

- O 3º quartil varia mais acentuadamente nos meses de março a junho (transição e início do verão), e novamente de setembro a dezembro (transição e início do inverno), o que indica que é nestes meses que ocorre a alteração mais significativa da tendência de verão em que 50% dos valores se concentram num intervalo de 0.55 m centrado em 1.39 m (mediana de julho), para a tendência de inverno em que 50% dos valores se encontram num intervalo de 1.96 m centrado em 2.89 m (mediana de dezembro). Esta variação ocorre à custa de um aumento mais significativo do quartil superior que do quartil inferior.

Quadro 3.4 – Parâmetros estatísticos mensais relativos a Hs, Tp e Dir, para o regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.

		Média	Desvio-padrão	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Mínimo	Máximo
Hs [m]	Jan	3.02	1.49	1.94	2.69	3.80	0.33	13.13
	Fev	2.89	1.48	1.77	2.57	3.65	0.46	12.14
	Mar	2.61	1.25	1.69	2.33	3.28	0.35	9.16
	Abr	2.11	0.98	1.43	1.87	2.59	0.46	8.32
	Mai	1.75	0.73	1.26	1.62	2.08	0.35	6.22
	Jun	1.47	0.53	1.11	1.41	1.74	0.42	5.40
	Jul	1.39	0.45	1.09	1.35	1.63	0.39	4.81
	Ago	1.41	0.50	1.07	1.34	1.66	0.39	5.03
	Set	1.65	0.79	1.13	1.47	1.94	0.37	7.69
	Out	1.65	0.79	1.13	1.47	1.94	0.37	7.69
	Nov	2.45	1.27	1.50	2.17	3.11	0.42	9.49
	Dez	2.89	1.54	1.75	2.53	3.71	0.54	10.82
Tp [s]	Jan	13.6	2.2	12.3	13.6	14.9	3.0	22.9
	Fev	13.5	2.3	12.1	13.4	14.9	4.3	25.5
	Mar	13.0	2.2	11.6	12.9	14.3	4.3	25.5
	Abr	11.7	2.1	10.3	11.6	13.1	4.3	19.9
	Mai	10.5	2.0	9.1	10.3	11.7	4.5	20.1
	Jun	9.7	1.8	8.4	9.5	10.9	3.7	18.0
	Jul	9.1	1.6	7.9	9.0	10.1	3.4	16.8
	Ago	9.3	1.8	8.1	9.1	10.3	4.0	19.5
	Set	10.7	2.2	9.1	10.4	12.2	3.3	22.0
	Out	11.9	2.2	10.4	11.8	13.3	4.4	22.2
	Nov	12.4	2.3	11.0	12.4	13.7	4.2	21.9
	Dez	13.3	2.3	11.9	13.3	14.7	3.5	25.5
Dir [°N]	Jan	288.9	30.8	282.4	292.2	301.0	0.1	360.0
	Fev	290.3	32.7	282.4	292.2	303.6	0.9	360.0
	Mar	293.5	25.6	282.6	294.2	306.3	0.4	359.0
	Abr	299.9	22.8	287.0	300.6	314.0	1.1	358.4
	Mai	301.5	19.7	289.9	301.7	314.6	0.3	358.0
	Jun	305.3	16.3	295.6	305.8	316.5	224.1	359.8
	Jul	310.9	12.8	302.5	311.2	320.1	247.1	345.2
	Ago	310.9	12.7	303.0	310.8	319.6	241.1	349.7
	Set	304.9	17.5	296.6	305.8	315.6	16.4	357.7
	Out	299.1	23.7	290.1	300.4	310.3	0.5	359.1
	Nov	296.7	29.7	287.8	299.8	310.2	0.1	359.8
	Dez	291.5	32.1	283.6	294.7	305.3	0.6	359.2

Relativamente a T_p , constata-se o seguinte:

- Os maiores valores de T_p máximos mensais observam-se nos meses de fevereiro, março e dezembro, e o mínimo observa-se em julho. O mínimo valor dos T_p mínimos mensais ocorre em janeiro e o máximo ocorre em maio.
- A média de T_p é máxima em janeiro, aproximadamente 14 s, e mínima em julho, aproximadamente 9 s, variando de forma suave e distribuída pelos meses intermédios. É também em julho que se verifica o menor valor de desvio-padrão (1.6 s), significando que é nesse mês que as ocorrências mais se concentram em torno da média, opondo-se ao mês de novembro (2.3 s), no qual existe uma maior dispersão de observações em relação à tendência central desse mês (12.4 s).
- Observando a forma das curvas da Figura 3.10 (b), relativa a T_p , conclui-se que entre os meses de inverno os períodos não variam tanto como entre os meses de verão, em que a diferença de valores é mais significativa de mês para mês como que ocorrendo uma transição de períodos mais evidente nesta estação.
- O 3º quartil varia mais acentuadamente nos meses de agosto a outubro, o menor intervalo de valores de T_p observados num mês ocorre em julho onde 50% dos valores se concentram num intervalo de 2.2 s centrado em 9.1 s (média de julho). Em setembro, a amplitude interquartil é máxima, observando-se 50% das ocorrências de T_p num intervalo de 3.0 s centrado em 10.7 s (média de setembro).

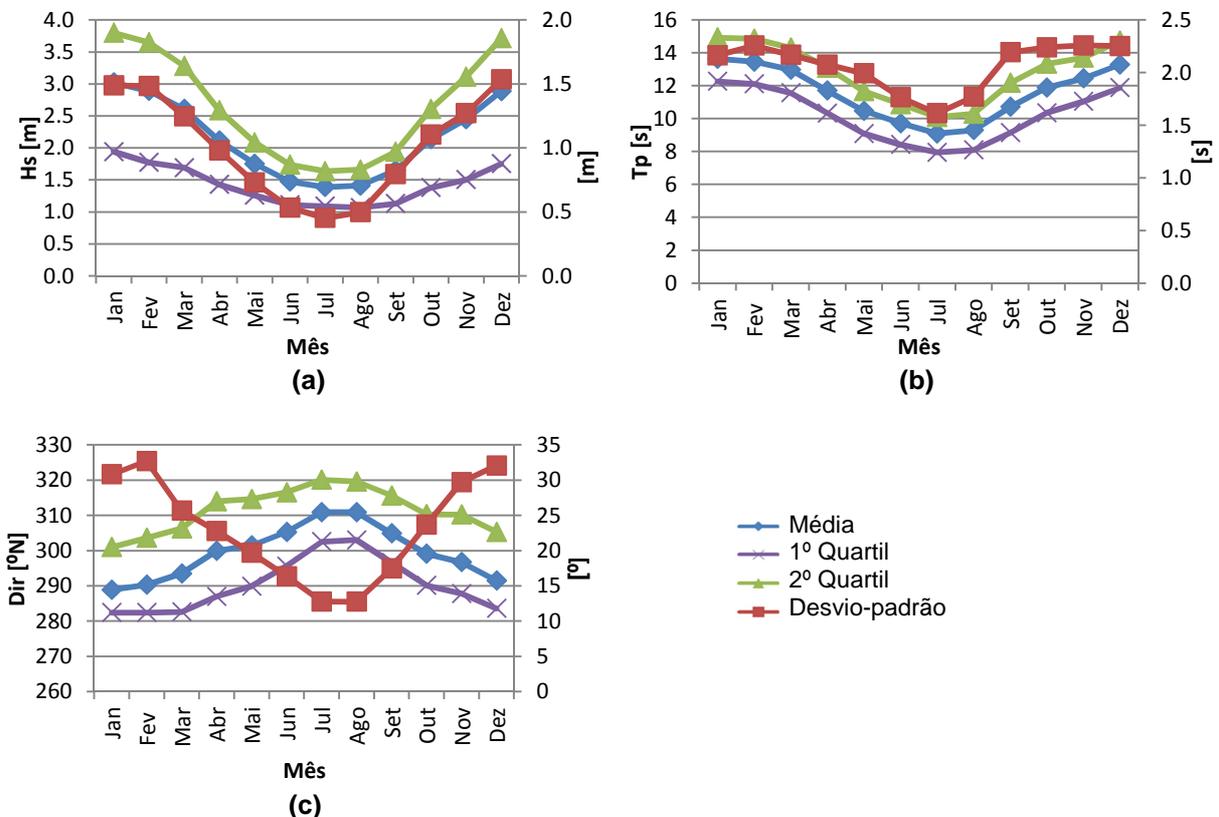


Figura 3.10 – Média e quartis (escala da esquerda), e desvio-padrão (escala da direita) mensais relativos a H_s (a), T_p (b) e Dir (c), para o regime geral de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.

Relativamente a Dir, constata-se o seguinte:

- A média dos rumos tem valores apenas no intervalo 289-311°N, estando mais rodada a sul em janeiro (289°N) e mais rodada a norte em agosto (311°N). É também em agosto que se verifica o menor valor de desvio-padrão (12.7°), significando que é nesse mês que as ocorrências mais se concentram em torno do valor médio (310.9°N), opondo-se ao mês de fevereiro (32.7°), no qual existe uma maior dispersão de observações em relação à tendência central dos valores desse mês (290.3°N).
- A amplitude interquartil é maior em abril, em que 50% dos valores se encontram num intervalo de direções de 27° centrado no rumo 300°N (média de abril). O menor intervalo de direções observado num mês ocorre em agosto, onde 50% dos valores se concentram num intervalo de 16.6° em torno de 311°N (média de agosto).

4 | Comparação com outros estudos

Nesta secção compara-se o clima de agitação marítima obtido no presente estudo com resultados de outros estudos anteriores. O objetivo desta comparação não é de validação dos dados do presente estudo, pois os mesmos já foram validados com dados de bóias e foram apresentados o erro quadrático médio e viés para a validação com a bóia-ondógrafo da Figueira da Foz, mas sim o seu enquadramento no âmbito do conhecimento existente proveniente de estudos relevantes relativos a períodos mais curtos.

Os dados previamente existentes são maioritariamente relativos à zona do Cabo Mondego e do Estuário do Mondego, ao largo ou noutras locais, e provenientes de bóias-ondógrafo, observações ou modelos de *hindcast*. Foram escolhidos períodos de comparação anteriores e posteriores ao período de funcionamento da bóia da Figueira da Foz (desativada em 1996).

Para esta comparação, foram extraídos e processados os dados do presente estudo correspondentes aos períodos em análise de cada um dos respetivos estudos anteriores, para se efetuar uma comparação em termos cronológicos.

Primeiramente, faz-se uma comparação com os dados provenientes do estudo realizado por Cunha *et al.* (1997) que caracteriza o clima de agitação ao largo do porto da Figueira da Foz, após transposição dos registos tomados pela Junta Autónoma do Porto da Figueira da Foz, entre janeiro de 1954 e dezembro de 1960 (sete anos), por Carvalho e Barceló (1966). Estas observações foram feitas a partir da “Torre do Relógio” três vezes ao dia, só na parte diurna, com registos simultâneos de altura, rumo e período da agitação.

O segundo período de comparação, de abril de 1984 a fevereiro de 1996, provém do estudo realizado por Capitão *et al.* (1997) que procede ao tratamento dos dados recolhidos na bóia-ondógrafo em frente à Figueira da Foz (40 12' 00" N e 09º 07' 36" O), em histogramas conjuntos de valores tri-horários de rumos e alturas significativas. Inclusa neste período encontra-se a análise dos dados do Instituto Hidrográfico, IH, levada a cabo por Cunha (1999), sendo uma análise mensal e anual, portanto mais específica, incidente apenas nos dois anos finais do referido estudo, 1995 e 1996, sendo a proveniência dos dados a mesma nos dois casos.

Por fim, o período de 1989-1998 aqui comparado é analisado por Cunha (1999) com dados provenientes de previsões diárias das condições de agitação marítima obtidas pelo Instituto de Meteorologia por reconstituição com modelo numérico (modelo de ondas geradas pelo vento, *hindcast*).

4.1 Período 1954-1960

No Quadro 4.1 apresenta-se a frequência relativa dos parâmetros direção, altura de onda (Hs) e período (Tp), obtidos no presente estudo e no estudo de Cunha *et al.* (1997), posteriormente desenvolvido por Cunha e Dinis (1998).

Quadro 4.1 – Clima de agitação marítima ao largo do porto da Figueira da Foz de 1954 a 1960 (7 anos).

Direção [°N]	Cunha <i>et al.</i> (1997)	Presente estudo	Hs [m]	Cunha <i>et al.</i> (1997)	Presente estudo	Tp [s]	Cunha <i>et al.</i> (1997)	Presente estudo
≤ 255	1.1%	1.1%	0 a 0.5	1.0%	0.2%	≤ 8	4.3%	29.1%
255 a 265	6.6%	1.9%	0.5 a 1	14.7%	9.5%	8 a 10	24.7%	26.4%
265 a 275	32.7%	4.2%	1 a 2	41.9%	48.1%	10 a 12	30.3%	27.3%
275 a 285	38.8%	10.4%	2 a 3	18.8%	22.7%	12 a 14	17.0%	11.7%
≥ 285	5.3%	81.7%	3 a 4	6.1%	10.2%	14 a 16	5.8%	4.4%
			4 a 5	2.2%	5.2%	16 a 18	2.4%	1.0%
			> 5	0.8%	4.1%			

Da comparação do estudo anterior com o presente estudo, retiram-se as seguintes principais conclusões:

- No estudo anterior a altura significativa máxima não ultrapassou os 7.5 m, contudo não ficaram registados os períodos de forte agitação devido à rotura no cabo de amarração da bóia-ondógrafo não direcional durante tempestades e devido à má visibilidade por nevoeiro e chuva. No mesmo período de sete anos, os dados do presente estudo indicam que as alturas máximas atingiram os 10.0 m. Manteve-se a classe de Hs mais frequente (1 a 2 m).
- A média de Hs no estudo anterior é de 1.8 m, um pouco inferior aos 2.17 m obtidos para o mesmo período no presente estudo, que sobrestima a frequência relativa para classes de Hs superiores à classe mais frequente e a subestima para classes de Hs inferiores, caracterizando então um regime mais energético.
- No estudo anterior, situações de temporal classificadas nas classes: 5-6.5 m representam 1.0% das ocorrências vs. 3.1% (presente estudo); 6.5-7.5 m representam 0.1% vs. 0.62%; 7.5-9.5 m representam 0.39% (presente estudo); e 9.5-13.5 m representam 0.04% (presente estudo).
- A agitação marítima no estudo anterior apresenta rumos na sua maioria restritos ao intervalo 242-297°N, existindo alguma influência do Cabo Mondego através de efeitos de refração e difração, não eliminados mesmo após a transferência para o largo (Cunha e Dinis, 1998), vs. 270-330°N (89%) no presente estudo, em que se considera que essa influência do Cabo não é verificada. Comprova-se a suposição de que existem ao redor do Cabo Mondego alterações no regime de agitação marítima devido a estes efeitos.
- No estudo anterior, Tp mais frequente encontra-se entre 7-13 s vs. 4-14 s (94%) no presente estudo onde se verifica um comportamento inverso de Hs em relação à classe mais frequente, resultando estas duas tendências numa maior declividade das ondas.
- Considerando um verão marítimo restringido aos meses de junho, julho, agosto e setembro, a média de Hs é 1.3 m vs. 1.52 m no presente estudo. Das ocorrências registadas, 68%

enquadra-se nos intervalos 0.5-2.5 m vs. 1.0-2.0 m, 262-292°N vs. 290-320°N e 7-11 s vs. 8-12 s.

- Considerando um inverno marítimo restringido aos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, a média de Hs é 2.2 m vs. 2.69 m no presente estudo. Das ocorrências registadas, 63% caracteriza-se nos intervalos 0.5-2.5 m vs. 1.0-3.5 m, 257-282°N vs. 280-310°N e 8-13 s vs. 10-14 s.

4.2 Período 1984-1996

Para o período de 1984 a 1996, é feita a adaptação do histograma conjunto de valores tri-horários de rumos e alturas significativas recolhidos pela bóia-ondógrafo em frente à Figueira da Foz, do regime total observado ao largo, obtido por Capitão *et al.* (1997) (Figura A.4 do Anexo). Os histogramas conjuntos dos invernos (outubro a março) e verões (abril a setembro) marítimos ao largo não se apresentam neste relatório, mas foram também analisados. Em cada célula, definida por classes de altura significativa e direção incidente, consta o número de ocorrências. Na Figura A.5 do Anexo apresenta-se o histograma conjunto do regime total dos dados de 6 em 6 horas do presente estudo no mesmo período, utilizando os mesmos escalões, obtido para efeitos de comparação.

Note-se que os valores de período obtidos por Capitão *et al.* (1997) são apenas apresentados de forma gráfica. É referida a correlação entre Hs e Tz, apresentada na Equação 4.1, com um valor de $R^2=0.3883$, muito reduzido.

$$Tz = 0.99Hs + 5.37 \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Regime geral

Em termos de alturas significativas, pela análise do produto da frequência absoluta deste parâmetro pelos limites inferior e superior de cada classe, conclui-se que a média dos dados tratados por Capitão *et al.* (1997) se situa entre os 1.97 m e 2.47 m, intervalo no qual se localiza a média obtida pelos dados do presente estudo, 2.18 m (Quadro 4.2), verificando-se assim concordância entre resultados.

Pela análise das frequências relativas acumuladas, conclui-se que o 1º quartil se situa na classe 1.0-1.5 m vs. 1.30 m do presente estudo, a mediana na classe 1.5-2.0 m vs. 1.80 m, e o 3º quartil na classe dos 2.5-3.0 m vs. 2.75 m.

Pode também referir-se que, de acordo com as frequências absolutas, o máximo valor de Hs se situa na classe 9.0-9.5 m vs. 12.14 m do presente estudo, mas há que ter em conta a possibilidade de avarias da bóia mencionada em situações de temporais.

Quadro 4.2 – Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Dir e Tp do regime geral (1984-1996), do presente estudo.

	Média	Desvio-padrão	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Mínimo	Máximo
Hs [m]	2.18	1.27	1.30	1.80	2.75	0.35	12.14
Dir [°N]	299.3	24.9	290.0	300.7	311.6	0.3	359.8
Tp [s]	11.6	2.7	9.5	11.5	13.5	4.1	22.2

Em termos de direções, pela análise do produto da frequência absoluta deste parâmetro pelos limites inferior e superior de cada classe, conclui-se que a média dos dados tratados por Capitão *et al.* (1997) se situa entre os 299.13°N e 304.13°N, intervalo no qual se localiza a média obtida pelos dados do presente estudo, 299.3 N (Quadro 4.2), verificando-se também concordância entre estudos para este parâmetro.

Pela análise das frequências relativas acumuladas, conclui-se que o 1º quartil se situa na classe 285-290°N vs. 290.0°N do presente estudo, a mediana na classe 300-305°N vs. 300.7°N, e o 3º quartil na classe dos 315-320°N vs. 311.6°N.

Para comparação direta de classes de frequência de Hs e Dir, apresentam-se os histogramas duplos para os dois estudos nas Figuras 3.11 e 3.12, ilustrando as diferenças referidas entre as ocorrências dos dois estudos nas várias classes.

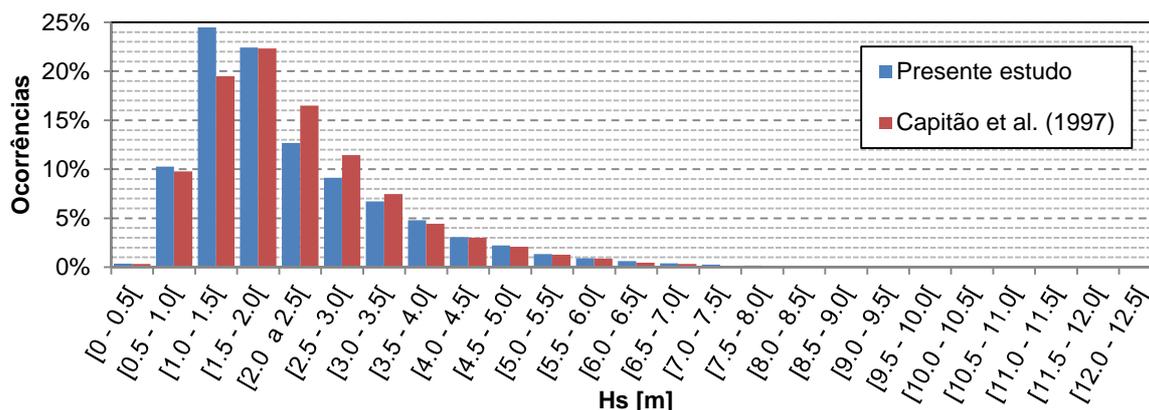


Figura 4.1 – Histograma duplo, comparativo de Hs no período total.

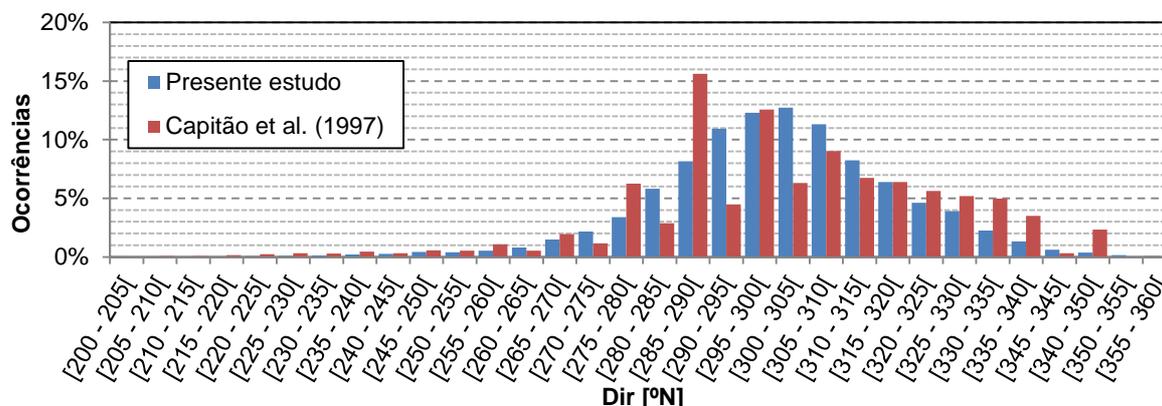


Figura 4.2 – Histograma duplo, comparativo de Dir no período total.

Para o regime geral, da comparação dos histogramas conjuntos de ambas as fontes, conclui-se o seguinte:

- No estudo de Capitão *et al.* (1997), o intervalo definido pelas classes Dir 275-325°N e Hs 1.0-3.0 m enquadra cerca de 52% das ocorrências vs. 57% das ocorrências que aí se verificam no presente estudo.
- No intervalo definido pelas classes Dir 255-340°N e Hs 0.5-5.0 m enquadram-se 91% das ocorrências vs. 93% no presente estudo.
- As Hs mais elevadas obtidas por Capitão *et al.* (1997) ocorrem essencialmente no intervalo de Dir 285-295°N com máximo na classe Hs 9.0-9.5 m enquanto no presente estudo se verificam essas classes de Hs no intervalo mais alargado de Dir 260-300°N, com máximo na classe Hs 12.0-12.5 m.
- No estudo de Capitão *et al.* (1997) predomina Dir na classe 285-290°N, com aproximadamente 16% das ocorrências, maioritariamente associada a Hs entre 1.5-2.0 m, classe com 22.33% das ocorrências e também a predominante em termos de Hs vs. a predominância da classe Dir 300-305°N, com aproximadamente 13% das ocorrências, maioritariamente associada a Hs entre 1.0-1.5 m, classe predominante em termos de Hs no presente estudo, com 24.42% das ocorrências.

Inverno Marítimo

No período de inverno marítimo, pela análise do produto da frequência absoluta pelos limites inferior e superior de cada classe, conclui-se que, para a altura significativa, a média dos dados tratados por Capitão *et al.* (1997) se situa entre os 2.28 m e 2.78 m, intervalo no qual se localiza a média obtida pelos dados do presente estudo, 2.76 m (Quadro 4.3).

Pela análise das frequências relativas acumuladas, conclui-se que o 1º quartil se situa na classe 1.5-2.0 m vs. 1.72 m do presente estudo, a mediana na classe 2.0-2.5 m vs. 2.49 m, e o 3º quartil na classe dos 3.0-3.5 m vs. 3.49 m.

Pode também referir-se que, de acordo com as frequências absolutas, o máximo valor de Hs se situa na classe 9.0-9.5 m vs. 12.14 m.

Quadro 4.3 – Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Dir e Tp no inverno marítimo (1984-1996), do presente estudo.

	Média	Desvio-padrão	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Mínimo	Máximo
Hs [m]	2.76	1.41	1.72	2.49	3.49	0.40	12.14
Dir [°N]	292.4	29.1	285.4	295.0	304.3	0.5	359.1
Tp [s]	13.1	2.3	11.6	13.1	14.6	4.1	22.2

Em termos de comparação direta de classes de Hs, apresentam-se os histogramas duplos na Figura 4.3, ilustrando as diferenças referidas entre as ocorrências dos dois estudos nas várias classes.

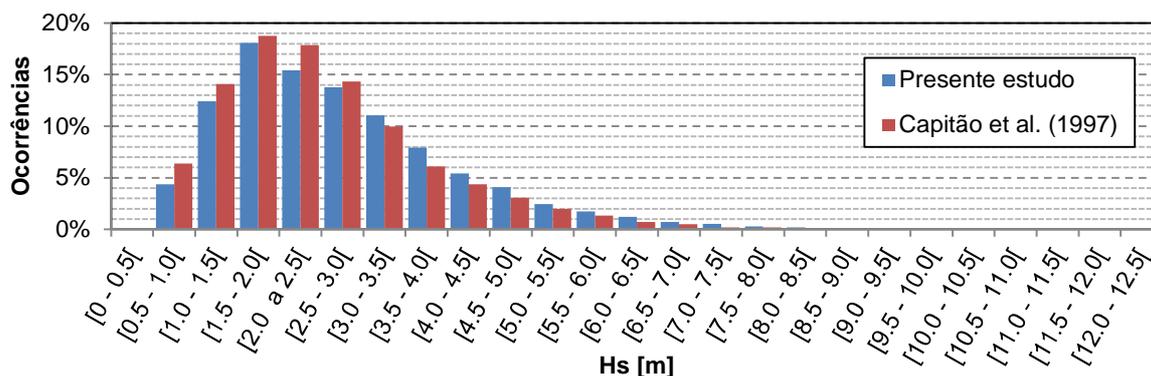


Figura 4.3 – Histograma duplo, comparativo de Hs no inverno marítimo.

Acerca das direções, conclui-se que a média dos dados tratados por Capitão *et al.* (1997) se situa entre os 297.09°N e 302.09°N, sendo a média obtida pelos dados do presente estudo, 292.4°N (Quadro 4.3), inferior ao menor destes valores, situando-se o 1º quartil na classe 285-290°N vs. 285.4°N do presente estudo, a mediana na classe 295-300°N vs. 295.0°N, e o 3º quartil na classe dos 310-315°N vs. 304.3°N.

Em termos de comparação direta de classes de Dir, apresentam-se os histogramas duplos na Figura 4.4, ilustrando as diferenças referidas entre as ocorrências dos dois estudos nas várias classes.

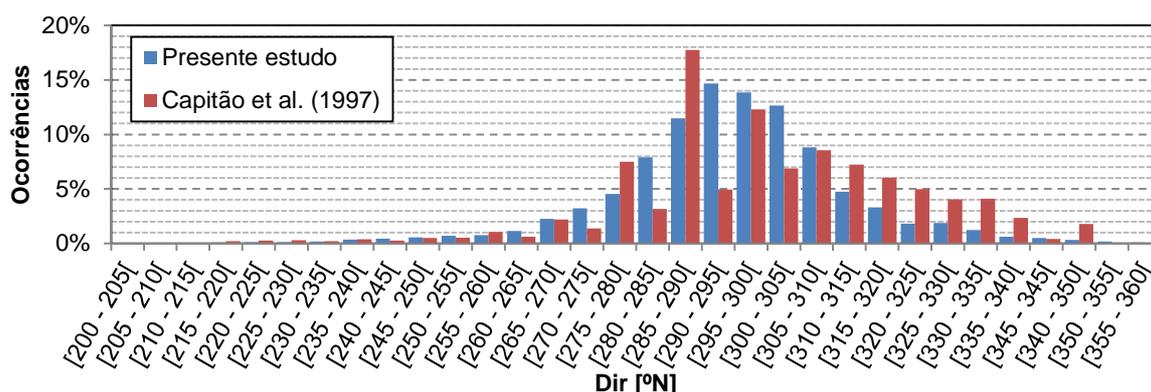


Figura 4.4 – Histograma duplo, comparativo de Dir no inverno marítimo.

Verão Marítimo

Para a altura significativa no período de verão marítimo, conclui-se que a média dos dados tratados por Capitão *et al.* (1997) se situa entre os 1.48 m e 1.98 m, intervalo no qual se localiza a média obtida pelos dados do presente estudo, 1.61 m (Quadro 4.4). O 1º quartil situa-se na classe 1.0-1.5 m vs. 1.13 m do presente estudo, a mediana na classe 1.5-2.0 m vs. 1.46 m, e o 3º quartil na classe dos 2.0-2.5 m vs. 1.87 m.

Pode também referir-se que, de acordo com as frequências absolutas, o máximo valor de Hs se situa na classe 8.0-8.5 m vs. 7.69 m do presente estudo.

Em termos de direções, conclui-se que a média dos dados tratados por Capitão *et al.* (1997) se situa entre os 302.38°N e 307.38°N, intervalo no qual se localiza a média obtida pelos dados do presente estudo, 306.0°N (Quadro 4.4). O 1º quartil situa-se na classe 285-290°N vs. 296.5°N do presente

estudo, a mediana na classe 305-310°N vs. 306.5°N, e o 3º quartil na classe dos 320-325°N vs. 317.0°N.

Quadro 4.4 - Parâmetros estatísticos relativos a Hs, Dir e Tp no verão marítimo (1984-1996), do presente estudo.

	Média	Desvio-padrão	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Mínimo	Máximo
Hs [m]	1.61	0.76	1.13	1.46	1.87	0.35	7.69
Dir [°N]	306.0	17.3	296.5	306.5	317.0	0.3	359.8
Tp [s]	10.1	2.1	8.6	10.0	11.4	4.4	22.0

Em termos de comparação direta de classes de Hs e Dir, apresentam-se os histogramas duplos nas Figuras 3.15 e 3.16, ilustrando as diferenças referidas entre as ocorrências dos dois estudos nas várias classes.

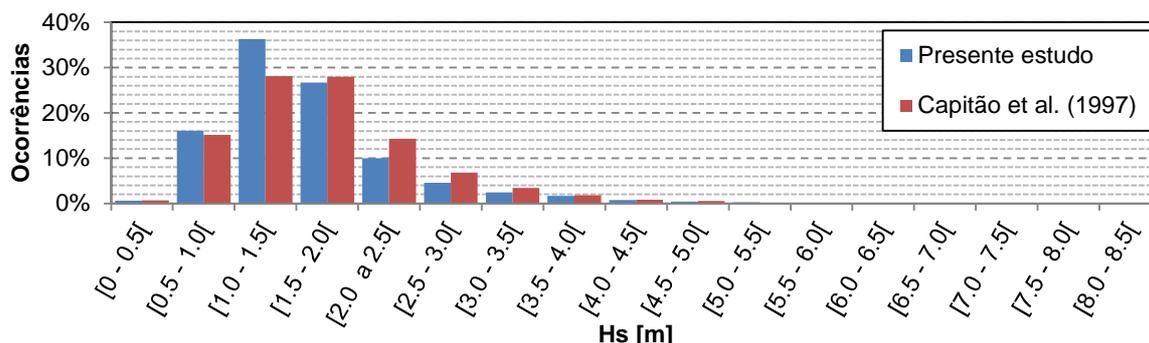


Figura 4.5 – Histograma duplo, comparativo de Hs no verão marítimo.

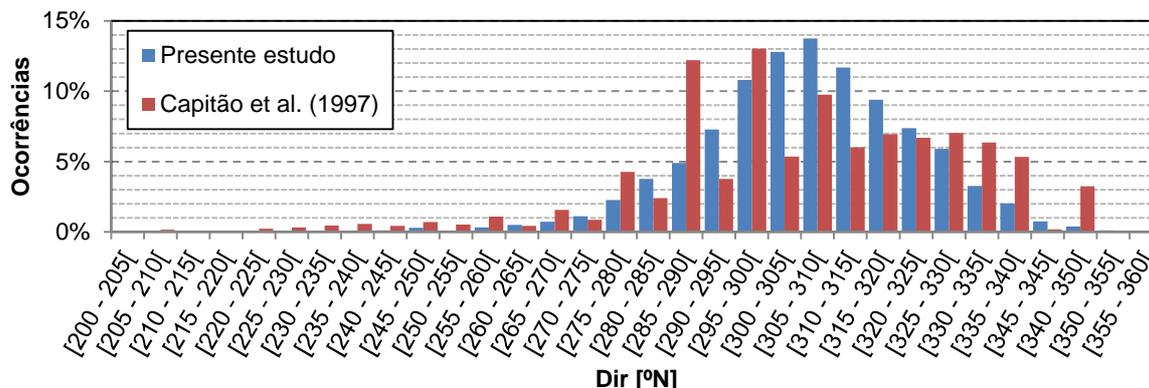


Figura 4.6 – Histograma duplo, comparativo de Dir no verão marítimo.

4.3 Período 1995-1996

Neste período mais curto inserido no final do período anterior, os dados do Instituto Hidrográfico analisados por Cunha (1999) têm a mesma origem que os dados utilizados na análise feita por Capitão *et al.* (1997) no referido período.

Com esta análise mais detalhada observa-se, no Quadro 4.5, que os valores de Hs do presente estudo são superiores aos dados em comparação, sendo a diferença mais evidente nos meses de inverno. Em termos de Dir pode afirmar-se que, dentro de uma certa variabilidade, os valores são semelhantes nos dois estudos. Além disso, são visíveis lacunas existentes ao nível dos registos

obtidos, o que também ajuda a compreender a distribuição de Dir ao largo encontrada no histograma obtido por Capitão *et al.* (1997).

4.4 Período 1989-1998

Neste período, as previsões diárias das condições de agitação obtidas pelo Instituto de Meteorologia (IM, atualmente englobado no Instituto Português do Mar e da Atmosfera, IPMA) que Cunha (1999) analisou, têm origem em dados provenientes de um modelo de ondas geradas pelo vento, tal como no presente estudo. Tanto os valores de Hs como de Dir são consistentes em ambos os estudos, como se pode observar também no Quadro 4.5, sendo os dados do IM apresentados com uma incerteza considerável.

O autor refere que “os anos de 1996 a 1998 regeram-se por contextos climatéricos fora do habitual, com o designado Anticiclone dos Açores afastado da sua posição típica e Portugal continental a ser frequentemente condicionado por depressões e pela passagem das respetivas superfícies frontais.”

Quadro 4.5 – Valores médios de Hs e Dir nos períodos 1995-96 e 1989-98.

		1995		1996		1989-98	
		Presente estudo	Instituto Hidrográfico	Presente estudo	Instituto Hidrográfico	Presente estudo	Instituto de Meteorologia
Janeiro	Hs [m]	3.19	3.01	4.29	*	3.13	2.70 ± 0.70
	Dir [°N]	295	307	278	*	288	302 ± 12
Fevereiro	Hs [m]	3.74	3.39	2.82	*	2.99	2.60 ± 0.60
	Dir [°N]	293	304	291		291	302 ± 15
Março	Hs [m]	2.74	*	2.11	2.16	2.47	2.30 ± 0.40
	Dir [°N]	307		283	281	294	305 ± 10
Abril	Hs [m]	1.69	*	1.89	1.84	2.27	2.30 ± 0.50
	Dir [°N]	301		294	303	302	304 ± 9
Maio	Hs [m]	1.78	*	1.74	1.90	1.62	1.80 ± 0.20
	Dir [°N]	292		290	299	296	299 ± 12
Junho	Hs [m]	1.17	*	1.46	*	1.49	1.60 ± 0.20
	Dir [°N]	317		304	311	307	310 ± 8
Julho	Hs [m]	1.33	1.36	1.43	1.41	1.39	1.50 ± 0.10
	Dir [°N]	307	315	313	318	310	315 ± 0
Agosto	Hs [m]	1.33	1.33	1.52	1.43	1.41	1.50 ± 0.10
	Dir [°N]	312	316	316	315	311	313 ± 4
Setembro	Hs [m]	1.83	1.73	1.73	1.60	1.72	1.80 ± 0.30
	Dir [°N]	311	314	307	303	306	309 ± 6
Outubro	Hs [m]	2.03	1.94	2.30	2.34	2.03	2.10 ± 0.30
	Dir [°N]	290	304	302	307	300	303 ± 13
Novembro	Hs [m]	2.23	2.18	2.69	2.67	2.66	2.50 ± 0.50
	Dir [°N]	283	296	303	307	293	300 ± 11
Dezembro	Hs [m]	3.09	2.76	2.90	2.40	3.01	2.80 ± 0.50
	Dir [°N]	276	286	283	279	288	295 ± 16
Anual	Hs [m]	2.18	2.25	2.24	1.98	2.18	2.10 ± 0.10
	Dir [°N]	299	306	297	303	299	305 ± 4

* média não significativa por falta de registos

Considerações finais

Em termos de alturas significativas verifica-se globalmente uma maior concordância, entre os estudos anteriores e o presente estudo do que em termos do parâmetro direção média incidente, havendo maior proximidade nos casos de dados provenientes de *hindcast* do que no caso de dados obtidos por bóias-ondógrafo, como apresentado. O parâmetro direção é mais variável: é muito influenciado pelo tipo de comportamento dos anos em análise, no sentido em que, num determinado ano, podem ocorrer valores muito extremos que influenciam fortemente o valor da média de Dir, enquanto as alturas e períodos apresentam uma tendência de variação mais constante.

A justificação encontrada para o facto de, em termos globais, os parâmetros Hs e Dir do presente estudo se caracterizarem por valores mais elevados e rodadas para sul quando comparados com os estudos baseados em dados de bóias, assenta na constatação de que estas são ocorrências típicas dos invernos marítimos, que causam mais frequentemente a avaria das bóias-ondógrafo, resultando em dados com lacunas de observações destas características extremas nesses estudos e, consequentemente, em regimes de agitação marítima menos energéticos que os verificados na realidade.

Quando comparados os dados do presente estudo com dados obtidos por *hindcast*, verifica-se uma semelhança mais alargada tanto em termos de Hs como de Dir, realçando-se o facto de, tratando-se de ondas forçadas pelo vento através de reconstituição por modelo numérico, não existirem lacunas ao nível dos dados de Dir, frequentes quando se tratam dados provenientes de leituras efetuados por bóias-ondógrafo.

5 | Conclusões

Da caracterização da agitação marítima (1952-2010) concluiu-se que a ZE está sujeita a um regime geral de agitação marítima de elevada energia caracterizado por uma forte sazonalidade. Com características médias Hs 2.15 m, Dir 299.5°N e Tp 11.6 s, e Hs mais frequente de 1.00-1.50 m associada a Dir 300-310°N e Tp 8-10 s, o regime geral regista eventos máximos com Hs de 13.13 m. Eventos de Hs>5.00 m representaram 3.69% das ocorrências, sendo que Hs>9.50 m ocorreram exclusivamente para Dir 270-290°N e Tp 16-22 s, e os valores médio e máximo de Hs no inverno/verão marítimo foram 2.66/1.63 m e 13.13/8.32 m, respetivamente. Da análise mensal verificou-se que as médias de Hs e Tp são máximas em janeiro, 3.02 m e 14 s, respetivamente, e mínimas em julho, 1.39 m e 9 s, restringindo-se as médias mensais de Dir a 289-311°N, com as obliquidades extremas, oeste/noroeste (289/311°N), em janeiro/agosto. Da comparação com outros estudos concluiu-se que a sazonalidade e anos atípicos influenciam as análises baseadas em períodos restritos e que uma análise baseada numa série temporal de dados de agitação marítima muito longa robustece a representatividade dos parâmetros expostos neste estudo.

Referências

- Abecasis, F., Castanho, J.P. e Matias, M. F. (1970). *Coastal regime. Carriage of material by swell and currents. Model studies and in situ observations. Influence of port structures. Coastal defence work. Breakwaters*, Memória do LNEC 362, Lisboa, 40 p.
- Capitão, R.P., Fortes, C.J. e Carvalho, M.M. (1997). Análise da dinâmica costeira do trecho Cabo Mondego – estuário do Mondego, Erosões em Buarcos, Estudo de agitação marítima, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 167/1997 – DHA/NPP, Lisboa, 28 p.
- Carvalho, J.J.R. e Barceló, J. (1966). Agitação marítima na costa Oeste de Portugal Metropolitano – Contribuição para o seu estudo, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Memória nº 290, Lisboa, 34 p.
- Cunha, P.P. (1999). Erosão no troço costeiro Cabo Mondego - Figueira da Foz: controlos naturais/antrópicos e implicações na gestão o litoral e das adjacentes bacias hidrográficas, *IV Simpósio de Hidráulica e recursos hídricos dos países de língua oficial portuguesa* (Comunicações), Universidade de Coimbra, 22 p.
- Cunha, P.P. e Dinis, J.L. (1998). A erosão nas praias do Cabo Mondego à Figueira da Foz (Portugal centro-oeste), de 1995 a 1998, *Territorium, Revista de Geografia Física aplicada ao ordenamento do território e gestão de riscos naturais*, Editora Minerva, Coimbra, 5, pp 31-50.
- Cunha, P.P., Dinis, J.L. e Reis, R.P. (1997). Relatório final do projecto de investigação PEAM/C/GEN/243/93 (Prog. Esp. Ambiente JNICT/DGA), Avaliação das modificações antrópicas actuais nos sub-ambientes sedimentares do Estuário do Mondego, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, (policopiado), 152 p e anexos (151 p e uma carta de sedimentos do estuário).
- Dias, J.A., Ferreira, O. e Pereira, A.R. (1994). Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré, edição eletrónica (2005): w3.uaalg.pt/~jdias/JAD/ebooks.
- Dodet, G., Bertin, X. e Taborda, R. (2010). *Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades*, *Ocean Modelling*, Vol. 31, pp 120-131.
- Duarte, D.N. e Reis, R.P. (1992). Estudo preliminar da evolução da linha de costa adjacente à embocadura do estuário do Mondego entre 1801 e 1989, Estimacões das taxas de acreção e erosão costeiras, *III Congr. Geol. España e VIII Congresso Latinoamericano de Geologia*, 2, pp 146-150, Salamanca.
- Oliveira, F.S.B.F. e Brito, F.A. (2015). Evolução da morfologia costeira a sul da embocadura do rio Mondego, de 1975 a 2011, *VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, Universidade de Aveiro, Aveiro, CD-ROM, 15 p.
- Oliveira, J.N.C., Oliveira, F.S.B.F. e Teixeira, A.A.T. (2016). Agitação marítima e potencial de transporte sedimentar longitudinal a sul da embocadura do rio Mondego. Actas das 4^{as} *Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, Lisboa, pp 241-244.

Oliveira, J.N.C., Oliveira, F.S.B.F., Teixeira, A.A.T. e Bertin, X. (2015). Caracterização da agitação marítima a sul da embocadura do rio Mondego. *3ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira* (Resumos), Universidade do Algarve, Faro, pp 29-30.

Anexo

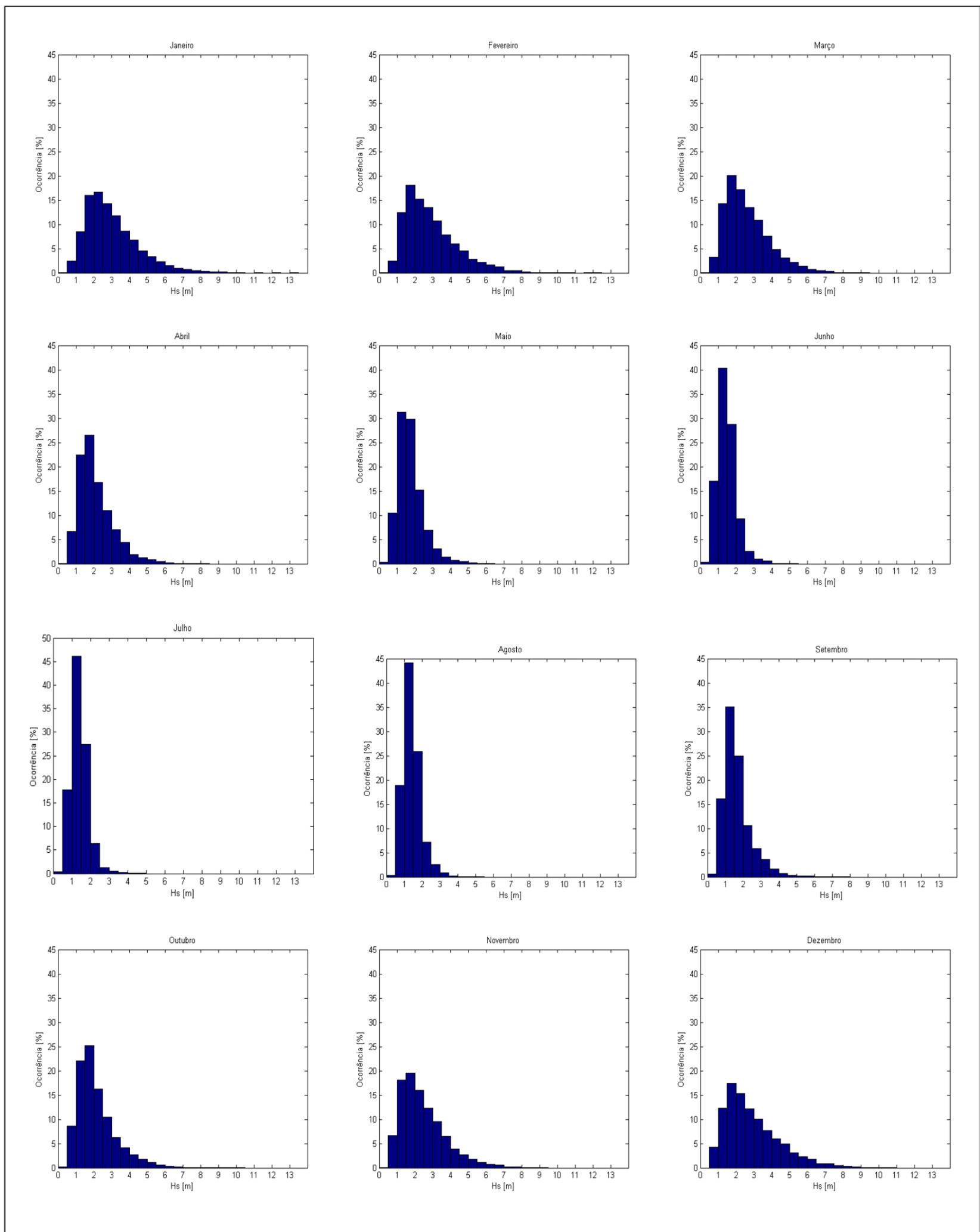


Figura A.1 – Histogramas mensais de Hs relativos ao clima de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.

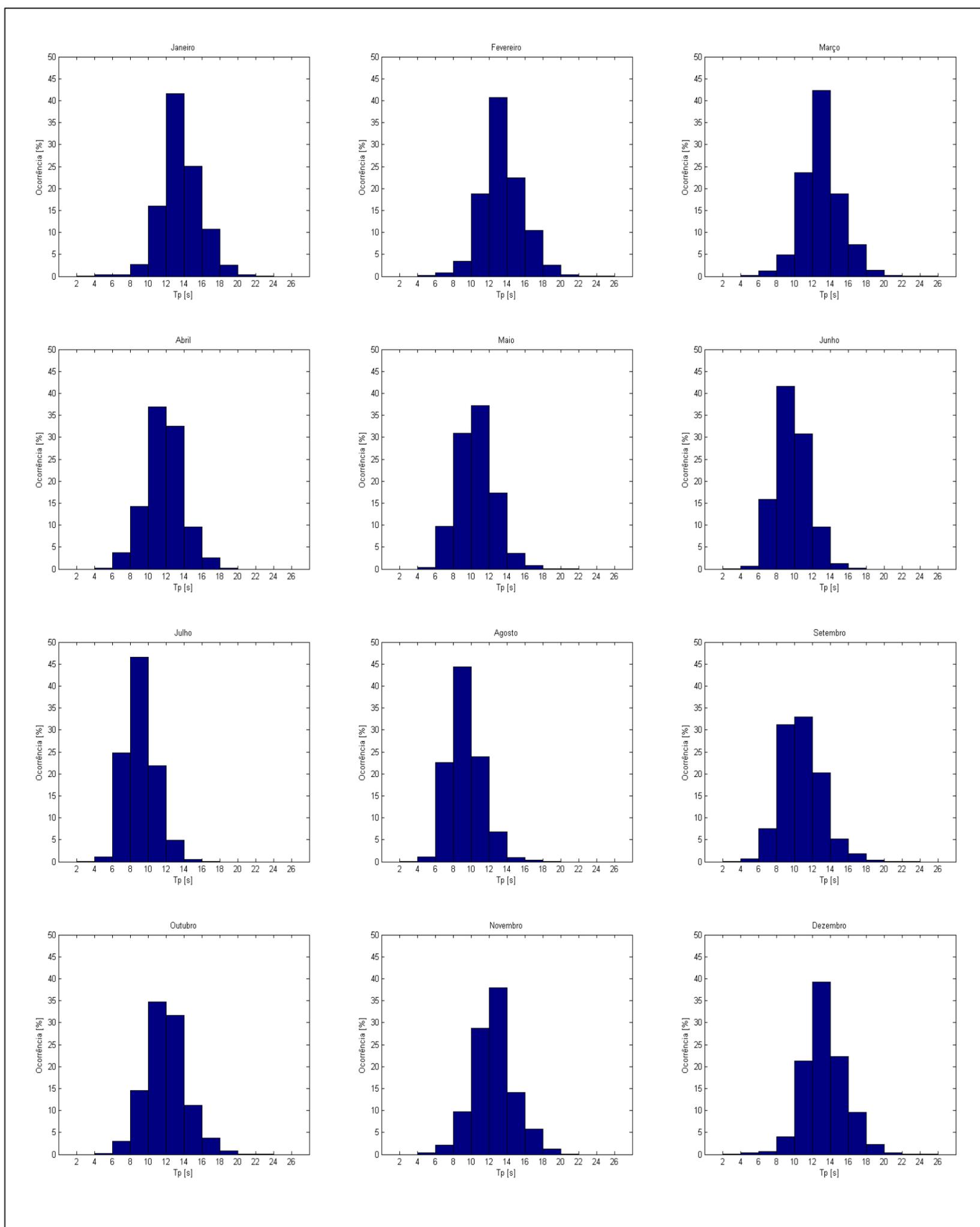


Figura A.2 – Histogramas mensais de Tp relativos ao clima de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.

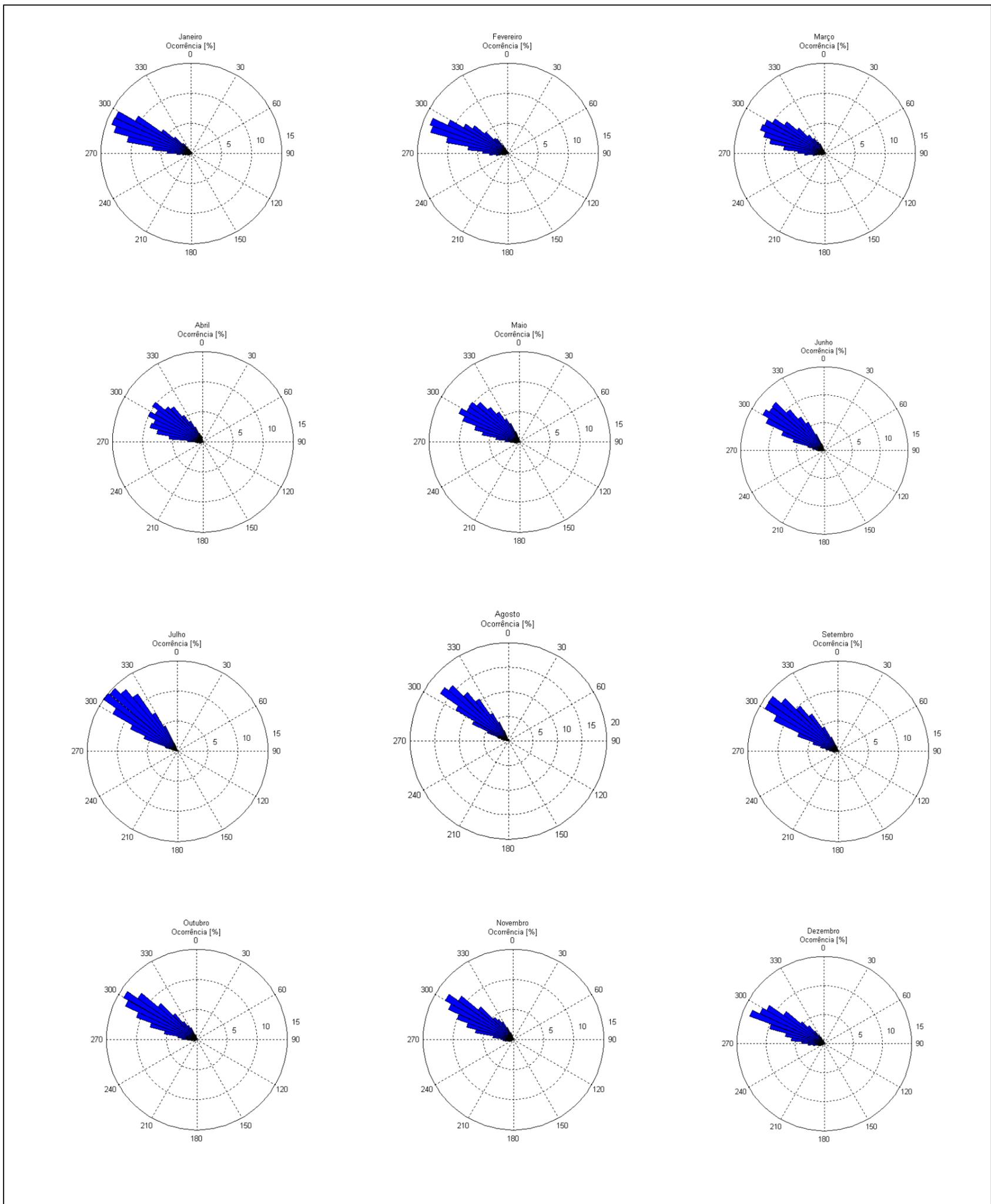


Figura A.3 – Histogramas polares de Dir, em classes de 5°, relativos ao clima de agitação marítima na zona de estudo, de 1952 a 2010.

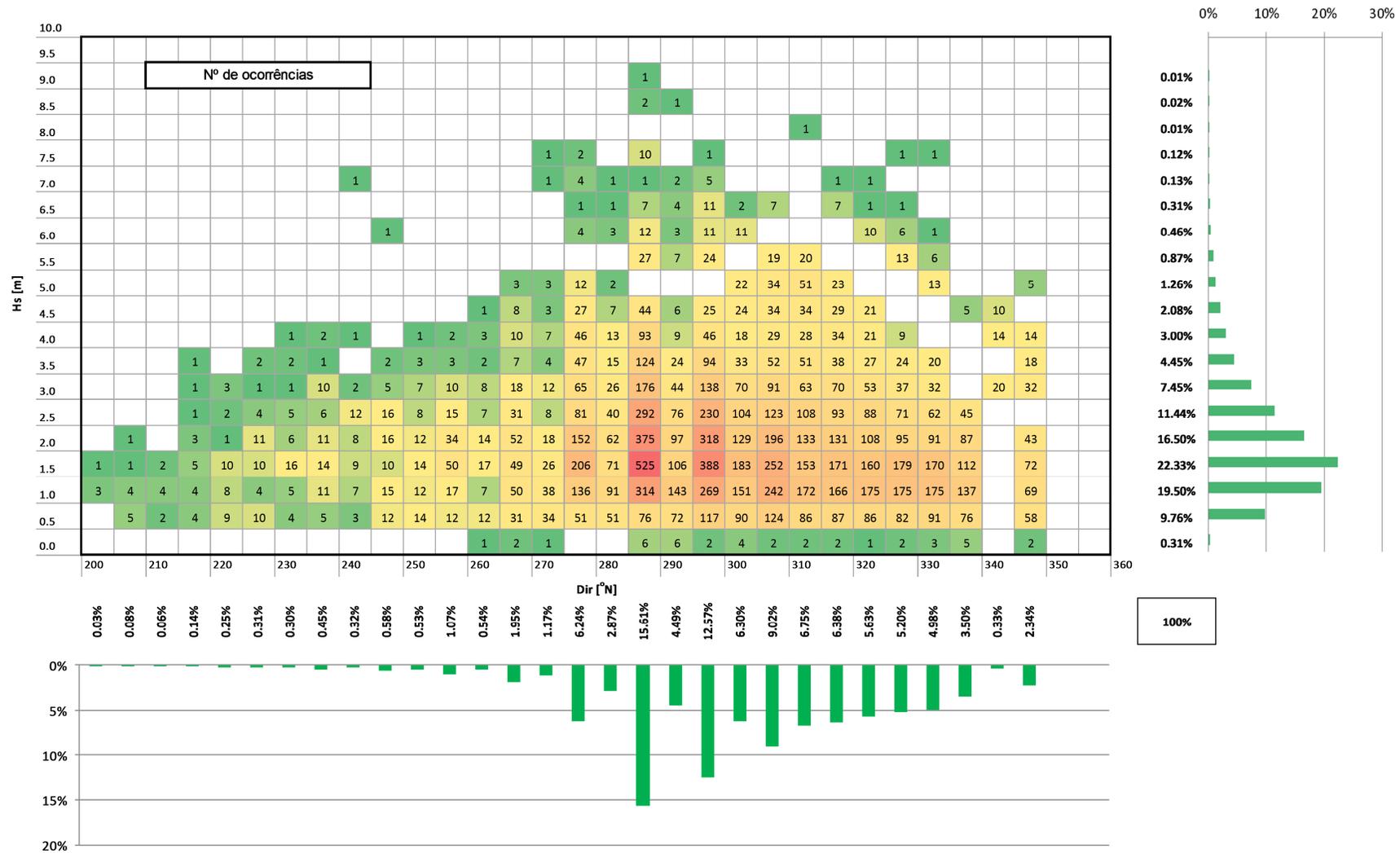


Figura A.4 – Histograma conjunto Dir-Hs, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, do regime observado ao largo na Figueira da Foz (Capitão *et al.*, 1997) no período de 1984 a 1996.

