



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Faculdade de Engenharia

Análise do Potencial Energético das Ondas em Portugal Continental

Helder José Aragão Martins

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
**Engenharia Eletrotécnica e de Computadores: Automação e
Eletrónica**
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutora Maria do Rosário Alves Calado

Covilhã, Outubro de 2014

Agradecimentos

A realização do presente trabalho representa o culminar da fase mais importante do meu percurso académico, e como tal dou os meus sinceros agradecimentos a todos os que de alguma forma participaram e ajudaram na sua realização. Pela orientação científica e técnica, incentivo e amizade que ao longo do tempo me foram oferecidos.

Em primeiro lugar quero apresentar os meus mais sinceros agradecimentos à minha orientadora Professora Doutora Maria do Rosário Alves Calado, pelo auxílio prestado durante toda a fase de elaboração desta dissertação. Saliento ainda que a sua ajuda, disponibilidade e compreensão foram de extrema importância para poder finalizar esta etapa.

Ao mestre Sílvio Filipe do Departamento de Engenharia Informática que me ajudou no tratamento de dados no programa *Matlab*.

A toda a minha família que sempre acreditou e apoiou incondicionalmente nesta caminhada, especialmente à minha mãe, Maria Lucília, à minha madrinha, Ana Martins, à minha irmã, Ana Rita Martins e aos meus avós maternos e paternos.

À namorada e melhor amiga que me animou, apoiou, ajudou e acreditou sempre em mim e nunca me deixou desanimar em todos os momentos desta caminhada.

E por fim, mas com a certeza que não os últimos aos meus verdadeiros amigos que sempre estiveram presentes.

Resumo

O tema abordado nesta dissertação tem um potencial enorme de desenvolvimento a nível mundial. Assim, neste trabalho pretende-se complementar o que já foi estudado na Universidade da Beira Interior nesta área científica. Nos trabalhos anteriores foi feita uma abordagem para o desenvolvimento conversores de energia elétrica a partir do movimento das ondas do mar, sem ter sido tido em conta o estudo das direções das ondas, incidindo-se na análise da sua altura e seu período. Com a presente dissertação pretende-se caracterizar a costa portuguesa, considerando as informações disponibilizados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera para sete localizações na costa.

O estudo incide ainda na análise das ocorrências de cada onda, no que diz respeito às suas alturas, período e direções, permitindo determinar quais as ondas com maior ocorrência e também as densidade de potência que se poderão atingir com maior probabilidade, direcionando o projeto de um determinado dispositivo para uma localização específica.

Pretende-se assim disponibilizar o resultado dos estudos e resultados desta dissertação para futuros projetos de dispositivos conversores, possibilitando uma otimização do sistema e um rendimento superior. Por outro lado, a informação acerca das direções das ondas do mar poderão influenciar o projeto mecânico das estruturas de instalação dos conversores, tendo em conta os esforços mecânicos resultantes da direção de ataque das ondas.

Palavras-chave

Energia das Ondas em Portugal, densidades de potência, direção da onda, período da onda, altura da onda, potencial energético na costa portuguesa

Abstract

The topic of this dissertation has a huge potential for development worldwide. In this work it is intended to complement what has already been studied at the University of Beira Interior in this scientific area. In previous works was adopted an approach for the development of electrical generators to convert energy from the sea waves, without having been taken into account in the studies the directions of the sea waves. Otherwise the approach was made focusing on the analysis of the heights and periods of the waves. The main goal of this work is to characterize the Portuguese coast, considering the information provided by the Instituto Português do Mar e da Atmosfera for seven locations on the coast.

This study is focused on studying the occurrences of each wave, with respect to their height, period, and direction, allowing determining the occurrence of waves and also the highest power density that can be achieved with a higher probability, directing the design of a particular device to a specific location. The aim is to provide the results of this work for future projects of devices to convert energy from waves, enabling system optimization and superior performance. Moreover, the information about the direction of the waves may influence the project of mechanical structures for the converters installation, in view of the mechanical stresses resulting from the direction attack of the waves.

Keywords

Wave Energy in Portugal, power densities, wave direction, wave period, wave height, energy potential on the Portuguese coast

Índice

Lista de Figuras	xi
Nomenclatura	xiv
Lista de Acrónimos	xvi
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Estrutura da Dissertação	4
2 Energia das Ondas em Portugal	5
2.1 Enquadramento	5
2.2 Condicionantes Ambientais	5
2.3 Condicionantes de Navegabilidade	7
2.4 Investigação em Conversores Elétricos de Energia das Ondas na UBI	7
3 Variáveis envolvidas na caracterização das ondas	9
3.1 Tipos de ondas formadas pelo vento	9
3.2 Princípios sobre a Teoria Linear das Ondas	10
4 Resultados	20
4.1 Caminha	21
4.2 Esposende	25
4.3 Aveiro	29
4.4 Peniche	33
4.5 Cabo da Roca	37
4.6 Baía de Cascais	41
4.7 Costa da Galé	45
5 Conclusões	49
Bibliografia	52
Anexos	54

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Distribuição Global de energia das ondas em kW por m de comprimento crista [8].	2
Figura 1.2 - Níveis de energia das ondas em kW por m de comprimento de crista nas águas europeias [8].	2
Figura 1.3 - Mapa dos pontos disponibilizados pelo IPMA [9].	3
Figura 3.1 - Perfil das ondas. Capilar a), Lineares b) e Não-Lineares c) [14].	10
Figura 3.2 - Notação dos parâmetros físicos bidimensionais para a teoria das ondas [14].	12
Figura 3.3 - Trajeto elíptico descrito por uma partícula de água durante a progressão de uma onda de acordo com a teoria das ondas [14].	15
Figura 3.4 - Forma do trajeto elíptico para águas profundas a), intermédias b) e rasas c) [14].	16
Figura 3.5 - Grupo de ondas [14].	17
Figura 4.1 - Frequência de Distribuição da Altura da Onda (Caminha).	22
Figura 4.2 - Altura da Onda Segundo a Direção (Caminha).	22
Figura 4.3 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Caminha).	23
Figura 4.4 - Período da Onda segundo a Direção (Caminha).	23
Figura 4.5 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Caminha).	24
Figura 4.6 - Frequência de Distribuição da Altura da Onda (Esposende).	26
Figura 4.7 - Altura da Onda segundo a Direção (Esposende).	26
Figura 4.8 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Esposende).	27
Figura 4.9 - Período da Onda segundo a Direção (Esposende).	27
Figura 4.10 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Esposende).	28
Figura 4.11 - Frequência de Distribuição da Altura da Onda (Aveiro).	30
Figura 4.12 - Altura da Onda segundo a Direção (Aveiro).	30
Figura 4.13 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Aveiro).	31
Figura 4.14 - Período da Onda segundo a Direção (Aveiro).	31
Figura 4.15 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Aveiro).	32
Figura 4.16 - Frequência de distribuição da Altura da Onda (Peniche).	34
Figura 4.17 - Altura da Onda segundo a Direção (Peniche).	34
Figura 4.18 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Peniche).	35
Figura 4.19 - Período da Onda segundo a Direção (Peniche).	35
Figura 4.20 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Peniche).	36
Figura 4.21 - Frequência de Distribuição da Altura da Onda (Cabo da Roca).	38
Figura 4.22 - Altura da Onda segundo a Direção (Cabo da Roca).	38
Figura 4.23 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Cabo da Roca).	39
Figura 4.24 - Período da Onda segundo a Direção (Cabo da Roca).	39

Figura 4.25 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Cabo da Roca)..	40
Figura 4.26 - Frequência de Distribuição da Altura da Onda (Baía de Cascais).....	42
Figura 4.27 - Altura da Onda segundo a Direção (Baía de Cascais).	42
Figura 4.28 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Baía de Cascais).	43
Figura 4.29 - Período da Onda segundo a Direção (Baía de Cascais).	43
Figura 4.30 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Baía de Cascais).	44
Figura 4.31 - Frequência de Distribuição segundo a Altura da Onda (Costa da Galé).	46
Figura 4.32 - Altura da Onda segundo a Direção (Costa da Galé).	46
Figura 4.33 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Costa da Galé).....	47
Figura 4.34 - Período da Onda segundo a Direção (Costa da Galé).	47
Figura 4.35 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Costa da Galé).	48

Nomenclatura

Símbolo	Designação	Unidades SI
a_x	Componente da aceleração da partícula de água segundo x	m^2/s
a_z	Componente da aceleração da partícula de água segundo z	m^2/s
C	Celeridade	m/s
C_g	Celeridade de grupo	m/s
d	Altura submersa do corpo flutuante	m
E	Energia total da onda	J
E_c	Energia cinética da onda	J
E_p	Energia potencial da onda	J
E_λ	Densidade de energia da onda	J/m^2
f	Frequência	H_z^{-1}
g_a	Aceleração da gravidade	m/s^2
h	Profundidade	m
H	Altura da Onda	m
J_w	Densidade de Potência	W/m
k	Número de onda	m^{-1}
p	Campo de pressão criado pela água	Pa
P	Potência contida na onda	W
t	Tempo	s
T	Período	s
U_p	Componente da velocidade da partícula de água segundo x	m/s
W_p	Componente da velocidade da partícula de água segundo z	m/s
ε	Deslocamento vertical de uma partícula de água	m
ζ	Deslocamento horizontal de uma partícula de água	m
η	Deslocamento vertical da superfície da onda	m
λ	Comprimento de Onda	m
ρ	Massa específica da água do oceano	Kg/m^3
ω	Frequência angular	Rad/s
Φ	Potência de Velocidade	m^2/s

Lista de Acrónimos

BBC	“Bottom Boundary Condition” - Condição de fronteira do fundo do oceano
DSBC	“Dynamic Surface Boundary Condition” - Condição de fronteira dinâmica da superfície
GRP	Gabinete de Relações Públicas
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
KSBC	“Kinematic Surface Boundary Condition” - Condição de fronteira cinemática da Superfície
SWL	“Still Water Level” - Nível de água calma
UBI	Universidade da Beira Interior

Capítulo 1

1 Introdução

Devido ao elevado aumento do consumo de energia, temos assistido a uma pressão económico-ambiental para a necessidade de obter um nível de energia renovável mais elevada, em alternativa à energia mais usual proveniente dos combustíveis fósseis [1, 2]. No grupo das energias renováveis existem as energias eólica, geotérmica, solar, dos oceanos e o aproveitamento da biomassa, de referir que as Energias Renováveis são todas as energias cujo potencial não se possa esgotar. A energia dos oceanos divide-se em energia das ondas, das marés, das correntes marinhas, dos gradientes de salinidade e dos gradientes de temperatura, sendo neste momento as mais promissoras a das Ondas e a das Marés [3, 4]. Este trabalho refere-se à energia proveniente das ondas, uma vez que esta se encontra potencialmente em grande abundância no nosso planeta, com incidência nos países que possuem costa marítima, sendo Portugal de entre esses um privilegiado.

As ondas transportam uma quantidade de energia superior à das restantes energias renováveis, principalmente a eólica e a solar [5, 6]. Esta energia resulta da interação entre o vento e a água, promovendo um armazenamento natural da energia na água criando ondas de vento que podem viajar milhares de quilómetros com poucas perdas de energia. A potência destas ondas criadas pelo vento é proporcional ao quadrado da amplitude e ao período do movimento. Quando existem ondas com períodos longos (aprox. 7-10s) e amplitudes grandes (aprox. 2m) originam-se ondas com fluxos de energia superiores a 40-50kW/m de largura da mesma [7]. Como esperado, esta energia renovável também não se encontra uniformemente distribuída pelo globo, assim conseguimos maior atividade das ondas nos dois hemisférios entre as latitudes 30° e 60° aproximadamente devido aos ventos ocidentais predominantes nessas regiões [8], Figura 1.1 e Figura 1.2.

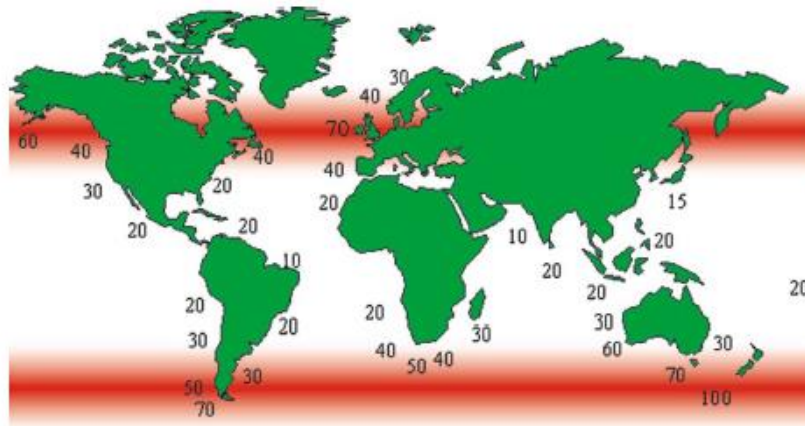


Figura 1.1 - Distribuição Global de energia das ondas em kW por m de comprimento de crista [8].



Figura 1.2 - Níveis de energia das ondas em kW por m de comprimento de crista nas águas europeias [8].

1.1 Objetivos

Na presente dissertação pretendem-se caracterizar alguns locais específicos da costa marítima portuguesa, com base em dados facultados pelo instituto português do mar e da atmosfera (IPMA), relativamente à direção das ondas. Este estudo permitirá caracterizar a costa portuguesa no que diz respeito à identificação completa das ondas, não só quanto ao seu período e altura, como também quanto à sua direção. Para tal, serão analisados diversos parâmetros necessários para a caracterização dos locais indicados na Figura 1.3.

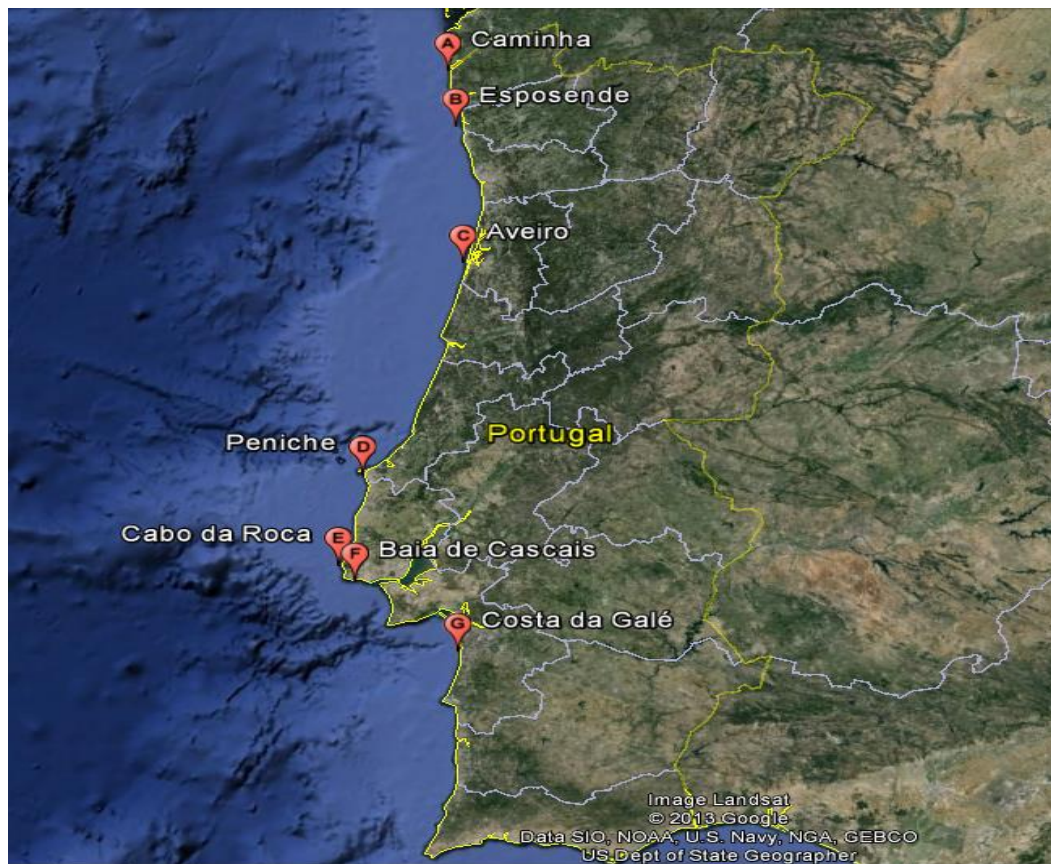


Figura 1.3 - Mapa dos pontos disponibilizados pelo IPMA [9].

Assim, para cada ponto será analisado o período, a altura e a densidade de potência em relação à direção da onda.

1.2 Estrutura da Dissertação

No primeiro capítulo é introduzido o tema da dissertação e são definidos os objetivos da mesma.

No segundo capítulo, faz-se um estado da arte relativamente a trabalhos prévios na área da conversão de energia elétrica das ondas do mar desenvolvidos na Universidade da Beira Interior (UBI).

No terceiro capítulo apresenta-se uma descrição de todas as formulações matemáticas usadas no estudo da presente dissertação e apontam-se as suas limitações.

No capítulo quatro mostram-se e discutem-se os resultados das análises efetuadas, através das tabelas em anexo e dos respetivos gráficos.

Para o quinto capítulo ficam reservadas as conclusões, bem como algumas sugestões de trabalhos futuros.

Capítulo 2

2 Energia das Ondas em Portugal

2.1 Enquadramento

Segundo Cruz e Sarmiento, a zona de maior potencial energético encontra-se entre as latitudes 30° e 60°, latitudes entre as quais se situa a Europa. Esta tem uma capacidade energética de 320GW ao longo de toda a costa, cerca de 16% do valor Mundial. No que a Portugal diz respeito, prevê-se uma produção de cerca de 21GW, os quais são distribuídos pelo continente e arquipélagos (15GW e 6GW respetivamente) [10].

Apesar da costa portuguesa estar dotada de uma capacidade energética elevada, não se podem simplesmente introduzir dispositivos de conversão sem atender a outros aspetos. Isto deve-se ao facto de existirem diversas condicionantes, nomeadamente ambientais, de pesca, de navegabilidade marítima e da introdução da energia produzida na rede nacional de energia elétrica. Desta forma, a energia útil passível de ser captada é menor do que a potencialmente disponível, uma vez que nem todos os locais são viáveis para a sua implementação.

2.2 Condicionantes Ambientais

Ao longo da costa portuguesa existem zonas protegidas, essas zonas foram demarcadas como áreas de “reservas marinhas” ou “parques marinhos”, as quais estão protegidas para sua própria sustentação, impedindo-se assim a implementação dos dispositivos conversores de energia elétrica. Nestas, podem referir-se os seguintes aspetos a ter em consideração aquando da escolha da localização de uma instalação de conversão de energia das ondas:

Reservas Naturais

Alguns estudos e testes realizados determinaram que o impacto da instalação de dispositivos conversores em zonas barimétricas situadas entre os 50 e os 80 m será baixo [11]. Nesta situação foram identificadas 3 zonas na costa portuguesa, sendo elas as seguintes: a Reserva Natural das Berlengas, o Parque Natural do Sudoeste Alentejano e o Parque Natural da Costa Vicentina.

Por outro lado, existem zonas protegidas que não atingem a batimétrica dos 50m, mas a passagem dos cabos elétricos que fazem a ligação à rede elétrica nacional é um obstáculo. Para

esta batimetria das zonas que não atingem os 50m encontram-se as Reserva Natural da Arrábida, a Reserva Natural das Dunas de S. Jacinto, a Paisagem Protegida do Litoral de Esposende, a Paisagem Protegida da Arriba Fóssil da Costa da Caparica e o Parque Natural de Sintra-Cascais [12].

Efeito Visual

Esta condicionante é apenas visual e depende unicamente do aspeto e localização dos dispositivos. Os dispositivos dividem-se em três tipos quanto à sua localização: os dispositivos *offshore*, os dispositivos *nearshore* e os dispositivos *onshore*. Os primeiros encontram-se a alguns quilómetros da costa, facilmente passando despercebidos, no entanto, durante o período noturno poderá não acontecer o mesmo, pois as luzes de sinalização são visíveis a uma maior distância, contudo, não deverá ter um impacto significativo. Para os segundos e terceiros dispositivos o mesmo já não acontece, uma vez que estas áreas são frequentemente usadas como áreas recreativas e de lazer implicando uma forte apreciação na sua fase de planeamento e licenciamento. Assim conclui-se que este obstáculo é fácil de ultrapassar, nomeadamente para dispositivos *offshore* [12].

Ruído

O potencial ruído destes dispositivos deve-se ao movimento dos seus componentes mecânicos. A propagação e efeito do mesmo dependem da sua intensidade e do tipo de ruído que provém da tecnologia dos dispositivos, dependendo também da distância destes aos recetores, da direção do vento e do ruído de fundo (rebentação das ondas). Estes ruídos podem causar afastamentos das aves, com alguma perda da fauna marinha, e caso sejam audíveis na costa deixará de ser aceite pela população. Se o dispositivo for *offshore* deixa de ter efeito para a população, uma vez que a distância é suficiente grande para que o ruído não chegue à costa. É de salientar que todo este efeito será muito mais efusivo na fase de implementação das instalações, tornando esse impacto apenas temporário possibilitando o seu restabelecimento numa fase posterior [12].

Acidentes

No que diz respeito à problemática dos possíveis acidentes e suas consequências, não deverá haver derrame de substâncias poluentes e, no caso de acidente, apenas danos físicos nos dispositivos. Para tal, foram adotadas medidas como uma boa sinalização dos parques dos dispositivos, dos cabos e desenvolvidos procedimentos especiais de emergência [12].

Emissões

Em questões ambientais, esta energia não tem emissões de gases poluentes atmosféricos nem gases de efeito de estufa, tornando-a uma energia limpa quanto à sua produção. Por outro lado

não se podem descartar as emissões produzidas, aquando do fabrico dos dispositivos, do seu transporte e no equipamento de transmissão. Contudo, segundo [12], as emissões resultantes da aplicação destas tecnologias são muito menores quando comparadas com as principais tecnologias existentes de aproveitamento das energias renováveis.

Em suma, quanto ao impacto ambiental da exploração da energia das ondas, este é reduzido, com especial enfoque nas tecnologias em *offshore*, desde que sejam cumpridos os condicionantes referidos, de acordo com os estudos realizados [13].

2.3 Condicionantes de Navegabilidade

Para a navegação marítima, os problemas causados pelos dispositivos instalados são as possíveis ocorrências de colisões. Para que a probabilidade de ocorrência dessas colisões seja mínima, é pertinente que se adotem as seguintes medidas:

Para locais que são atravessados pela batimétrica dos 50m, devem-se encontrar bem delineados nos mapas marítimos do instituto hidrográfico a localização das instalações, sendo portanto zonas a evitar. Lembra-se que nestas circunstâncias se encontram a Reserva Natural das Berlengas, o Parque Natural do Sudoeste Alentejano e o Parque Natural da Costa Vicentina. Para locais mais afastados foram criados corredores de navegação e demarcados de forma conveniente para que se garanta a segurança. Não se podem esquecer as zonas portuárias, que segundo as recomendações das autoridades se sugere o estabelecimento de um cone com 135° [12], salvaguardando a segurança quer dos dispositivos, quer das pessoas.

2.4 Investigação em Conversores Elétricos de Energia das Ondas na UBI

Na Universidade da Beira Interior, a temática da recolha da energia das ondas está abordada em duas dissertações [14, 15]. Em ambos os trabalhos são propostos dispositivos conversores de energia das ondas em energia elétrica baseados em geradores lineares de relutância variável comutada. Num caso adotou-se uma estrutura linear planar, e no outro uma estrutura linear tubular. Os dispositivos propostos basearam o seu dimensionamento otimizado nos parâmetros da altura das ondas e do seu período, e considerando que o movimento do gerador é feito segundo o eixo vertical, no seguimento de um movimento puramente vertical imposto pela onda. Como tal, o dimensionamento do dispositivo é feito apenas para as forças que se desenvolvem no respetivo eixo, desprezando o movimento realizado nas outras direções. Achou-se pertinente fazer o estudo tridimensional das ondas, identificando a direção de ataque da onda no gerador, permitindo um desenvolvimento dos dispositivos mais eficaz, mais próximo

da realidade, proporcionando um rendimento mais elevado. Para além das considerações da melhoria do desempenho eletromagnético do gerador, poder-se-á incluir no seu dimensionamento as considerações mecânicas das forças aplicadas pelas ondas à instalação. Esse estudo é realizado mais à frente na presente dissertação.

Capítulo 3

3 Variáveis envolvidas na caracterização das ondas

Na presente dissertação é feito o tratamento de dados fornecidos pelo IPMA com a finalidade de se obter uma característica da onda nalguns locais estabelecidos. Uma vez que os dados fornecidos para cada local foram a altura, a direção e o período de cada onda, torna-se necessário recorrer a expressões matemáticas para determinar todos os parâmetros envolvidos na caracterização das ondas, como por exemplo, a densidade de potência.

Para se poder realizar a análise referida atrás, é necessário compreender a forma de movimentação das ondas. O movimento oscilatório das ondas forma-se devido a existirem forças que tendem a contrariar a força da gravidade como também a tensão superficial da água, e que se designam por forças verticais; esta conjugação de forças, juntamente com a inércia da massa de água, cria os desequilíbrios oscilatórios [16, 17]. O tipo de onda que vai ser estudada nesta dissertação é a onda com origem no vento, uma vez que são as que mais se manifestam na superfície oceânica e mais atenção merecem para a captação de energia, pois existem outros tipos de onda como é descrito em [17, 18].

3.1 Tipos de ondas formadas pelo vento

De entre as ondas formadas através do vento, estas são ainda divididas em três tipos de onda, as capilares, as lineares e as não lineares. Designam-se de ondas capilares as ondas de baixa ondulação uma vez que estas surgem da interação do aumento de velocidade na superfície da água criando alterações de pressão à superfície da mesma, impondo um escoamento turbulento. Porém se a intensidade do vento aumentar, o escoamento turbulento aumenta também, e as ondas passam a apresentar um movimento idêntico a uma senoide, aumentando a energia acumulada; estas, devido às suas características, podem ser representadas matematicamente por equações lineares. Por sua vez, quando a intensidade do vento atinge velocidades superiores, a altura da onda aumenta juntamente com o comprimento da mesma, devido ao gradiente de pressão horizontal que origina uma separação do escoamento de ar no sotavento da crista da onda. Estas, devido a estes fatores indicados, apresentam uma crista mais afunilada

e uma cova mais ampla, sendo estas as de perfil mais aproximado ao comportamento real, designando-se de ondas não-lineares [17, 18, 19].

Na figura seguinte ilustra-se o perfil das ondas descritas atrás:

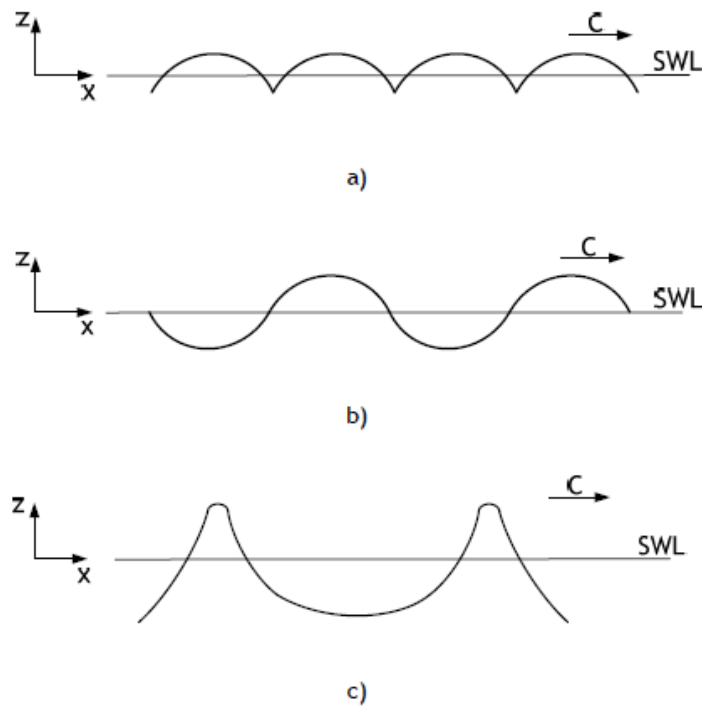


Figura 3.1 - Perfil das ondas. Capilar a), Lineares b) e Não-Lineares c) [14].

3.2 Princípios sobre a Teoria Linear das Ondas

Através de [17, 20] conclui-se que apesar de as ondas com um perfil mais real, as não-lineares, não apresentarem um perfil semelhante a uma senoide, podem ser analisadas segundo o mesmo princípio. Para tal efeito, são usadas expressões lineares, a que se chama teoria linear das ondas. As ondas obedecem aos princípios da hidrodinâmica e é possível, através de expressões matemáticas, descrever as suas propriedades.

Esta teoria prevê a adoção de algumas premissas de modo a que os resultados obtidos sejam os mais realistas possíveis. Segue-se uma descrição resumida destas premissas [17]:

- A água é homogênea e incompressível e o comprimento da onda é longo o suficiente de modo a que as forças de tensão superficial sejam desprezáveis (i.e., comprimentos de onda superiores a 3 cm).
- O escoamento é irrotacional. A água não sofre tensões de corte na superfície livre (zona de interação entre o ar e a água) nem no fundo do oceano. Não são consideradas outras ondas formadas pelos efeitos do vento e a água escorrega livremente no fundo do oceano e em outras superfícies sólidas e fixas. Deste modo, o potencial de velocidade ϕ deve satisfazer a equação de Laplace (3.1) para um escoamento bidimensional:

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (3.1)$$

em que x e z são as coordenadas horizontal e vertical, respetivamente.

- O fundo do oceano é estacionário, impermeável e horizontal. Portanto, o fundo não adiciona, não remove nem reflete energia às ondas.
- A pressão ao longo da superfície livre da água é constante sendo desprezável o gradiente de pressão aerostático entre a crista e a cava das ondas.
- A altura das ondas é pequena comparada com o seu comprimento e com a profundidade do oceano.

A equação (3.1) é regida por três condições de fronteira, que se dividem em duas para a superfície livre do oceano e uma para o fundo do mesmo.

As condições de fronteira são:

- Condição de fronteira cinemática da superfície (KSBC) - qualquer partícula de água que se situe na superfície livre mantém-se nessa superfície, apesar de esta sofrer ondulação devido à propagação da onda.
- Condição de fronteira dinâmica da superfície (DSBC) - o valor da pressão relativa na superfície livre é nulo para qualquer posição e instante de tempo.
- Condição de fronteira do fundo do oceano (BBC) - as partículas de água adjacentes ao fundo do oceano não atravessam o fundo sólido, ou seja, a componente vertical da velocidade destas partículas é nula.

As propriedades hidrodinâmicas, indicadas neste capítulo, são derivadas da teoria linear das ondas. A sua formulação encontra-se fora do âmbito desta dissertação, sendo apenas indicadas as expressões matemáticas relevantes e parâmetros físicos associados. A formulação da teoria

linear das ondas, assim como das expressões dela derivadas, encontra-se detalhada em [16, 21, 1].

As ondas do oceano são caracterizadas por propriedades físicas que permitem a determinação das restantes propriedades hidrodinâmicas. O nível de água calma (SWL) representa o nível superfície da água do oceano ausente de ondulação (em condições calmas). O valor da sua cota no referencial é cartesiano e é nulo. A profundidade (h) mede a distância entre o fundo do oceano e o nível de água calma. A onda é ainda caracterizada por uma altura H (medida entre a crista e a cava) e um comprimento de onda λ (medido entre duas cristas consecutivas). O deslocamento vertical na superfície da onda $\eta(x,t)$ é medido em relação ao nível de água calma e representa a deslocação da superfície da onda em função do tempo t e da distância x (Figura 3.2). A onda move-se a uma velocidade de fase ou celeridade C dada por (3.2):

$$C = \frac{\lambda}{T} \quad (3.2)$$

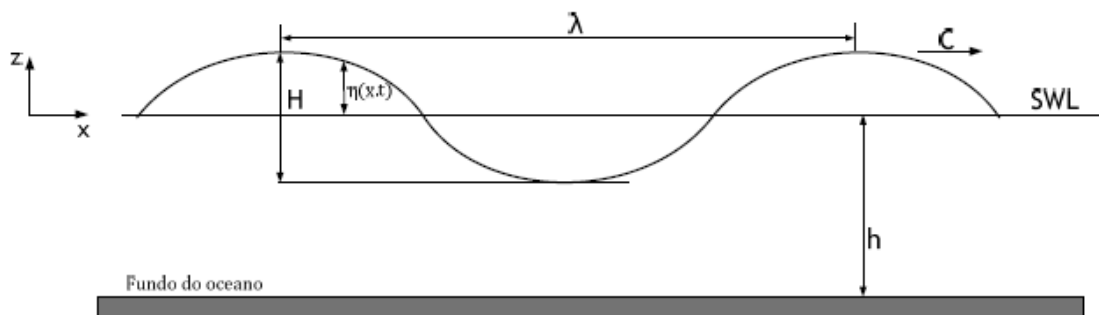


Figura 3.2 - Notação dos parâmetros físicos bidimensionais para a teoria das ondas [14].

Na determinação das propriedades hidrodinâmicas das ondas são utilizados alguns parâmetros adimensionais que caracterizam a onda, como o número de onda, a frequência angular e a inclinação. O número de onda k define a quantidade de ondas por unidade de distância segundo o eixo do x (3.3).

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.3)$$

A frequência angular das ondas ω é o número de ondas por unidade de tempo e é dado por (3.4):

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = kC \quad (3.4)$$

A inclinação da onda é definida como a razão entre a sua altura e o seu comprimento. Este parâmetro indica o quanto a onda é afunilada e calcula-se de acordo com (3.5):

$$\text{Inclinação da onda} = \frac{H}{\lambda} \quad (3.5)$$

O potencial de velocidade ϕ é uma função escalar utilizada em mecânica dos fluidos que define o integral do vetor velocidade ao longo de uma distância. O vetor velocidade pode ser obtido pelo gradiente do potencial de velocidade. Apesar de não ter nenhum sentido físico, esta função escalar é utilizada para descrever o comportamento de um fluido irrotacional, tendo como vantagem a redução de três variáveis dependentes do vetor velocidade (U_p , V_p e W_p) para apenas uma (ϕ) facilitando assim a sua computação. Assim, a equação da continuidade pode ser expressa pela equação de Laplace (3.1) a qual já apresenta uma solução analítica geral. A teoria linear das ondas é formulada resolvendo equação (3.1) com as condições fronteiras apropriadas, cujo procedimento não faz parte do contexto desta dissertação, como já foi referido. Através da solução da equação (3.1) é possível derivar o potencial de velocidade para a teoria linear das ondas. Este é dado por (3.6):

$$\phi = \frac{Hg_a \cosh[k(Z+h)]}{2\omega \cosh(kh)} \sin(kx - \omega t) \quad (3.6)$$

A equação do deslocamento vertical de superfície da onda é dada por (3.7):

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (3.7)$$

Para a teoria linear das ondas, a frequência angular, o comprimento de onda e a celeridade podem ser expressos em função do número de onda pelas relações (3.8) a (3.10):

$$\omega = \sqrt{g_a k \tanh(kh)} \quad (3.8)$$

$$\lambda = \frac{g_a T^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \quad (3.9)$$

$$C = \frac{g_a T}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \quad (3.10)$$

O valor do comprimento de onda não pode ser calculado analiticamente, sendo necessário recorrer a processos iterativos de tentativa e erro para obter a solução.

As equações (3.8) a (3.10) são conhecidas como a equação da dispersão, uma vez que são diferentes configurações da mesma expressão. As ondas do oceano são dispersivas, i.e., num grupo de ondas com diferentes períodos ou comprimentos, as ondas mais longas propagam-se a uma celeridade superior, dispersando-se das restantes.

As propriedades hidrodinâmicas das ondas variam consoante a profundidade da zona marítima em que se propagam. Esta é caracterizada pela profundidade relativa dada pela razão entre a profundidade e o comprimento da onda (h/λ). Tendo em conta este parâmetro adimensional, as ondas podem propagar-se em três regiões distintas.

- **Águas Rasas**

$$\frac{h}{\lambda} < \frac{1}{20} \Rightarrow \tanh(kh) \approx kh$$

- **Água intermédia**

$$\frac{1}{20} < \frac{h}{\lambda} < \frac{1}{2} \Rightarrow \tanh(kh) \approx \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right)$$

- **Água profunda**

$$\frac{h}{\lambda} > \frac{1}{2} \Rightarrow \tanh(kh) \approx 1$$

Tendo em conta as relações anteriores, em águas profundas, as equações da dispersão (3.8) a (3.10) reduzem-se a (3.11) a (3.13):

$$\omega = \sqrt{g_a k} \quad (3.11)$$

$$\lambda = \frac{g_a T^2}{2\pi} \quad (3.12)$$

$$C = \sqrt{g_a h} \quad (3.13)$$

Neste caso, em que $h/\lambda > 0.5$, as ondas não interagem com o fundo do oceano sendo as suas características totalmente independentes da profundidade.

No caso de águas rasas para $h/\lambda < 0.05$ a celeridade e comprimento de onda já dependem da profundidade, resultando nas expressões (3.14) a (3.16):

$$\omega = \sqrt{g_a k^2 h} \quad (3.14)$$

$$\lambda = T\sqrt{g_a h} \quad (3.15)$$

$$C = \sqrt{g_a h} \quad (3.16)$$

Segundo a teoria linear, à medida que a onda se propaga, as partículas de água descrevem uma trajetória orbital (Figura 3.3). A forma da órbita descrita pela partícula de água varia com a profundidade. Para o caso de águas profundas, a órbita é circular, com o diâmetro diminuindo à medida que a profundidade aumenta. Para águas intermédias e rasas, a órbita toma a forma de uma elipse que se torna mais achatada com o aumento da profundidade (Figura 3.4).

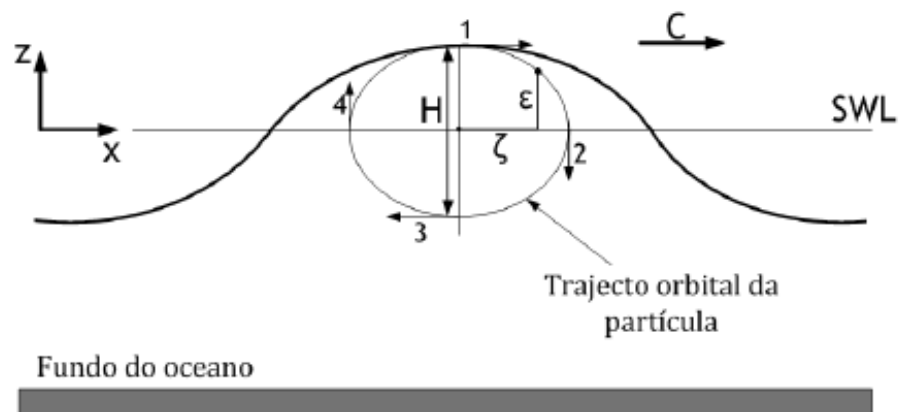


Figura 3.3 - Trajeto elíptico descrito por uma partícula de água durante a progressão de uma onda de acordo com a teoria das ondas [14].

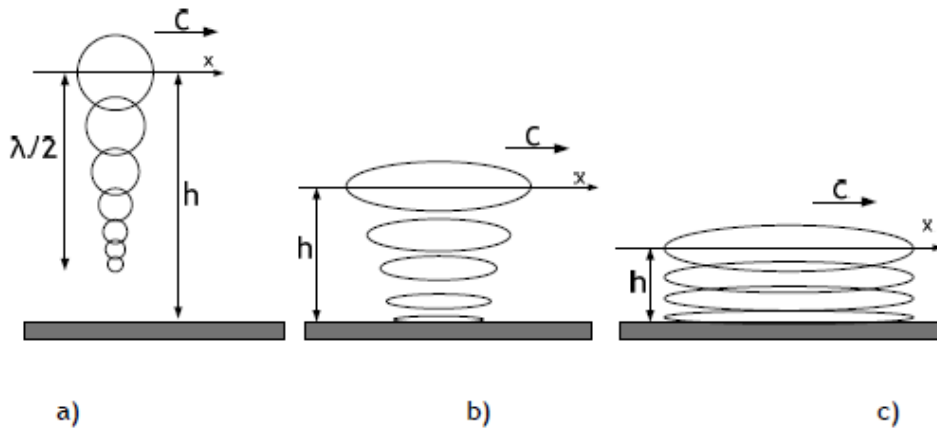


Figura 3.4 - Forma do trajeto elíptico para águas profundas a), intermédias b) e rasas c) [14].

No caso bidimensional, as componentes horizontal e vertical da velocidade, aceleração e deslocamento podem ser obtidas a partir do potencial de velocidade derivado da teoria linear das ondas. As componentes da velocidade horizontal e vertical das partículas são dadas, respetivamente, por (3.17) e (3.18):

$$U_p = \frac{\pi H \cosh[k(z+h)]}{T \sinh(hd)} \cos(kx - \omega t) \quad (3.17)$$

$$W_p = \frac{\pi H \sinh[k(z+h)]}{T \sinh(hd)} \sin(kx - \omega t) \quad (3.18)$$

Para as componentes da aceleração tem-se, (3.19) e (3.20):

$$a_x = \frac{2\pi^2 H \cosh[k(z+h)]}{T^2 \sinh(hd)} \sin(kx - \omega t) \quad (3.19)$$

$$a_z = \frac{2\pi^2 H \sinh[k(z+h)]}{T^2 \sinh(hd)} \cos(kx - \omega t) \quad (3.20)$$

A órbita descrita pela partícula apresenta deslocamentos vertical e horizontal, ζ e ε , relativamente ao centro, expressos por (3.21) e (3.22):

$$\zeta = \frac{-H \cosh[k(z+h)]}{2 \sinh(hd)} \sin(kx - \omega t) \quad (3.21)$$

$$\varepsilon = \frac{H \cosh[k(z+h)]}{2 \sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (3.22)$$

Todas as equações apresentadas caracterizam apenas uma onda individual e regular, mas na realidade, estas deslocam-se em grupos de várias ondas individuais. Considerando a hipótese de fluido irrotacional, na qual a teoria linear é baseada, os grupos de onda são constituídos por ondas regulares sobrepostas apresentando um padrão irregular como a seguinte figura demonstra (Figura 3.6):

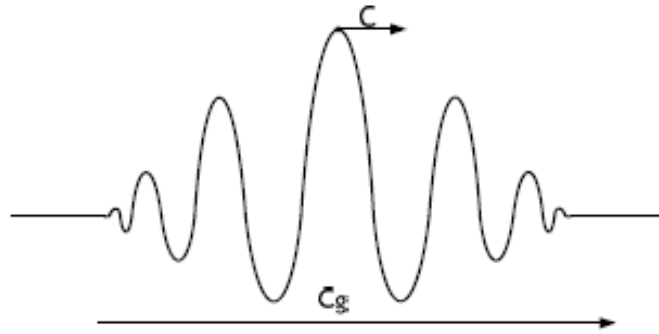


Figura 3.5 - Grupo de ondas [14].

À medida que o grupo de ondas se propaga, as ondas regulares frontais vão diminuindo em altura, acabando por desaparecer ao mesmo tempo que novas ondas surgem na retaguarda do grupo. A celeridade de um grupo de ondas C_g é menor que a celeridade de uma onda regular C contida no grupo, sendo a celeridade de um grupo calculada através de (3.23):

$$C_g = \frac{C}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] \quad (3.23)$$

Para águas profundas, a expressão dentro de parênteses retos em (3.23) torna-se igual à unidade. Portanto, para um grupo de ondas que se propaga nesta zona, a celeridade do grupo é metade da celeridade da onda individual, tal como se expressa em (3.24).

$$C_g = \frac{C}{2} \quad (3.24)$$

Em águas rasas a celeridade do grupo mantém-se igual à celeridade da onda individual resultando em (3.25):

$$C_g = C \quad (3.25)$$

O campo de pressão p originado pelas ondas do oceano é dado por (3.26):

$$p = -\rho g_a z + \frac{\rho g_a H}{2} \left[\frac{\cosh k(h+z)}{\cosh(kh)} \right] \cos(kx - \omega t) \quad (3.26)$$

No segundo membro da equação (3.26), a primeira parcela corresponde à pressão hidrostática e a segunda à pressão dinâmica induzida pela aceleração das partículas das ondas. Esta equação não é válida para posições da onda acima do nível de água calma. Em águas profundas, a pressão dinâmica anula-se para distâncias superiores a $\lambda/2$ abaixo do nível da água atuando, neste caso, apenas a pressão hidrostática [17].

As ondas do oceano representam energia mecânica em transição. Esta energia mecânica resulta da soma das energias cinética e potencial das ondas superficiais. Trata-se de uma característica fundamental a ser considerada em sistemas de conversão de energia, uma vez que condiciona o projeto e desempenho do dispositivo de conversão.

De acordo com a teoria linear das ondas, a energia cinética E_c é dada por (3.27) e a energia potencial E_p é expressada por (3.28):

$$E_c = \frac{\rho g_a H^2 \lambda L}{16} \quad (3.27)$$

$$E_p = \frac{\rho g_a H^2 \lambda L}{16} \quad (3.28)$$

Sendo a energia cinética igual à energia potencial, a energia total E contida numa onda resulta de (3.29):

$$E = E_c + E_p = \frac{\rho g_a H^2 \lambda L}{8} \quad (3.29)$$

Torna-se útil expressar a energia por unidade de superfície de área E_λ , ou seja, por comprimento de onda considerando uma largura unitária. Assim a energia é definida em termos de densidade, sendo dada por (3.30):

$$E_\lambda = \frac{E}{\lambda \times 1} = \frac{\rho g_a H^2}{8} \quad (3.30)$$

Como as ondas do oceano representam energia mecânica em transição, como referido, torna-se relevante determinar a taxa de transporte de energia na direção de propagação das ondas, designada como fluxo de energia ou potência. O fluxo de energia é determinado pelo produto da força induzida no plano normal à direção de propagação da onda e pela velocidade horizontal das partículas de água nesse plano. A força induzida pela onda resulta da pressão dinâmica.

Derivada da teoria linear das ondas, a expressão para o fluxo de energia associada às ondas do oceano P é dada por (3.31):

$$P = \frac{\rho g_a H^2 C L}{16} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] \quad (3.31)$$

A função da celeridade de grupo fica:

$$P = \frac{\rho g_a H^2 C_g L}{8} \quad (3.32)$$

A expressão anterior pode ainda ser expressa em densidade de potência J_w , ou seja, por largura de onda ficando:

$$J_w = \frac{P}{L} = \frac{\rho g_a H^2 C_g}{8} = E_\lambda C_g \quad (3.33)$$

Capítulo 4

4 Resultados

Para cada localização considerada (Caminha, Esposende, Aveiro, Peniche, Cabo da Roca, Baía de Cascais e Costa da Galé), foram analisados os três seguintes parâmetros das ondas: a altura, a densidade de potência e o período. Cada um dos parâmetros é caracterizado segundo a direção e a frequência de ocorrência. Estas análises permitem concluir acerca dos melhores parâmetros a escolher durante o dimensionamento do dispositivo de conversão de energia das ondas. Quanto à frequência de ocorrência de um determinado valor de altura da onda, será determinante para a definição do curso máximo do elemento móvel do gerador nominal, enquanto que a direção de onda de maior ocorrência poderá ser determinante no projeto mecânico estrutural.

Os programas utilizados para analisar os dados obtidos foram o *Microsoft Office Excel*, *Matlab* [22] e o *WRPLOT View* [23].

O *Microsoft Office Excel* foi utilizado para a elaboração das tabelas e através da ferramenta das funções foram introduzidas todas as equações necessárias para o cálculo das grandezas pretendidas e obtenção dos dados necessários. As equações inseridas foram as equações apresentadas no capítulo anterior, encontrando-se as tabelas nos Anexos. De referir que as tabelas apresentadas não reproduzem integralmente todos os resultados obtidos já que pela sua dimensão (foram tratados 973 valores obtidos ao longo de 8 meses) inviabilizariam essa reprodução, tendo-se optado por mostrar parte delas. Posteriormente, e com recurso aos dados que suportaram a construção das tabelas, recorreu-se ao programa *WRPLOT View* para construção dos gráficos que são apresentados a seguir. Com a ferramenta *Matlab* elaboraram-se os gráficos em três-dimensões, que se mostram também a seguir, de forma a que a visualização dos resultados obtidos, para cada localização, fosse de fácil visualização e compreensão.

4.1 Caminha

As Figura 4.1 a Figura 4.5 mostram a frequência das alturas e dos períodos da onda, a direção das alturas e dos períodos da onda e a densidade de potência segundo a direção e a altura da onda para a localização de Caminha.

Em Caminha a altura da onda mais predominante, com 22,7%, encontra-se entre os 1,7 e 2,4 m, sendo pouco significativa (1,8%) a ocorrência de ondas com alturas superiores a 6,5 m (Figura 4.1). Observa-se também que é segundo a direção Oeste (265° a 275°) que se obtém a maior ocorrência de ondas; por outro lado é também nesta orientação que ocorrem as ondas com amplitudes superiores (Figura 4.2). Na Figura 4.3 e Figura 4.4 observa-se a frequência do período e a direção do período respectivamente. A partir da Figura 4.3 conclui-se que o período que mais ocorre (15,3%) tem valores entre os 6,8 e 7,5 s, embora os períodos com valores entre os 7,5 e 9,8 s (38,2%) sejam também significativos; no gráfico da Figura 4.4 verifica-se que é segundo a direção Oeste (265° a 275°) que ocorrem mais ondas e por sua vez temos períodos um pouco mais elevados (superiores a 7,5 s) atingindo mesmo a escala dos valores do período mais elevada (≤ 11 s). Por fim, na Figura 4.5, é representado os valores da Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda. Torna-se mais fácil de observar nesta figura que apesar de haver ondas com densidades de potência muito mais elevada, estas ocorrem menos vezes implicando que um dispositivo construído para captar estas densidades funcionaria com um rendimento muito baixo. Para tal, depois de se observar a figura conclui-se que para a localização de Caminha se deve optar por construir um dispositivo que tenha uma gama de incidência para alturas de onda até os 3m e também deverá ser projetado para direções que variem entre os 260° e os 300° para que as forças induzidas pelas ondas no eixo horizontal sejam suportadas pelo dispositivo.

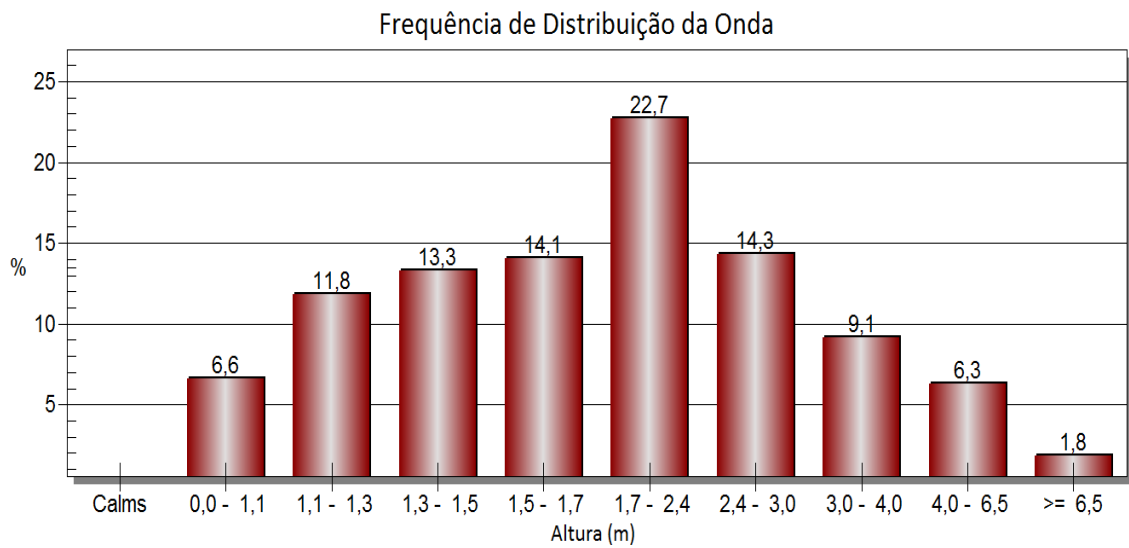


Figura 4.1 - Frequência de Distribuição da Altura da Onda (Caminha).

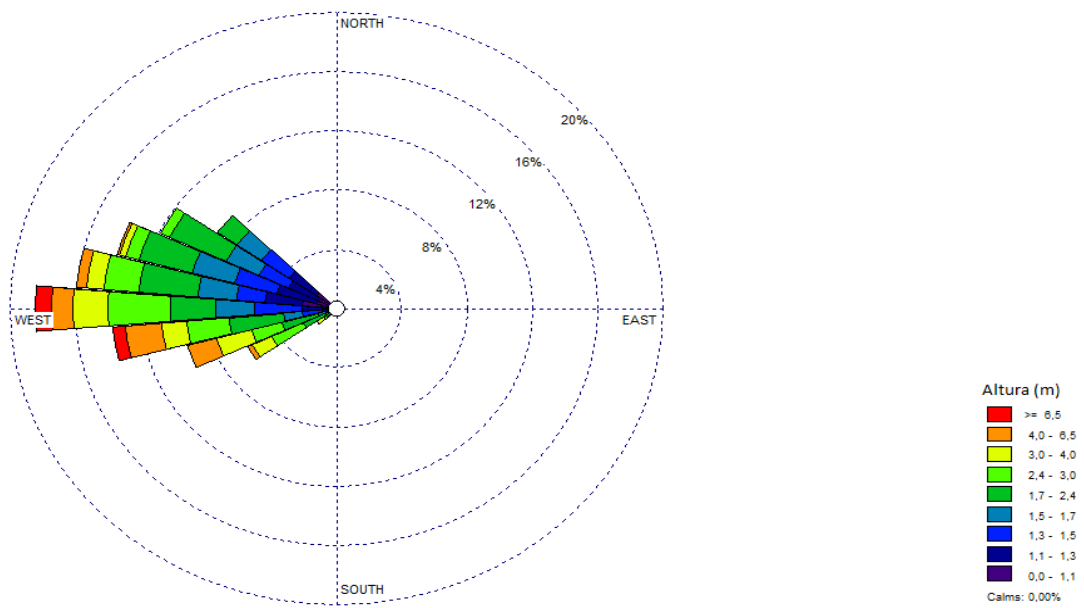


Figura 4.2 - Altura da Onda Segundo a Direção (Caminha).

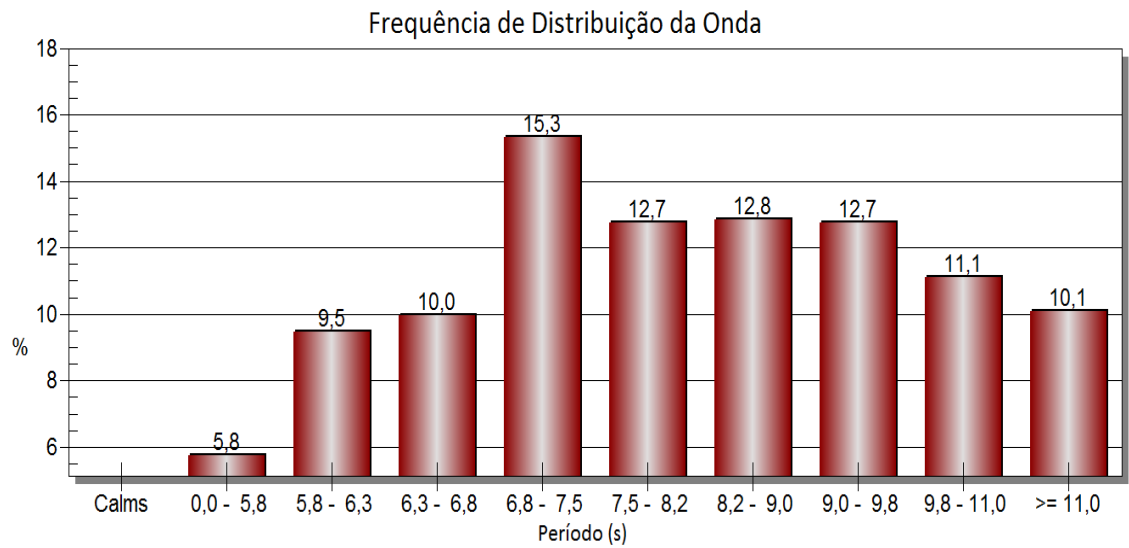


Figura 4.3 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Caminha).

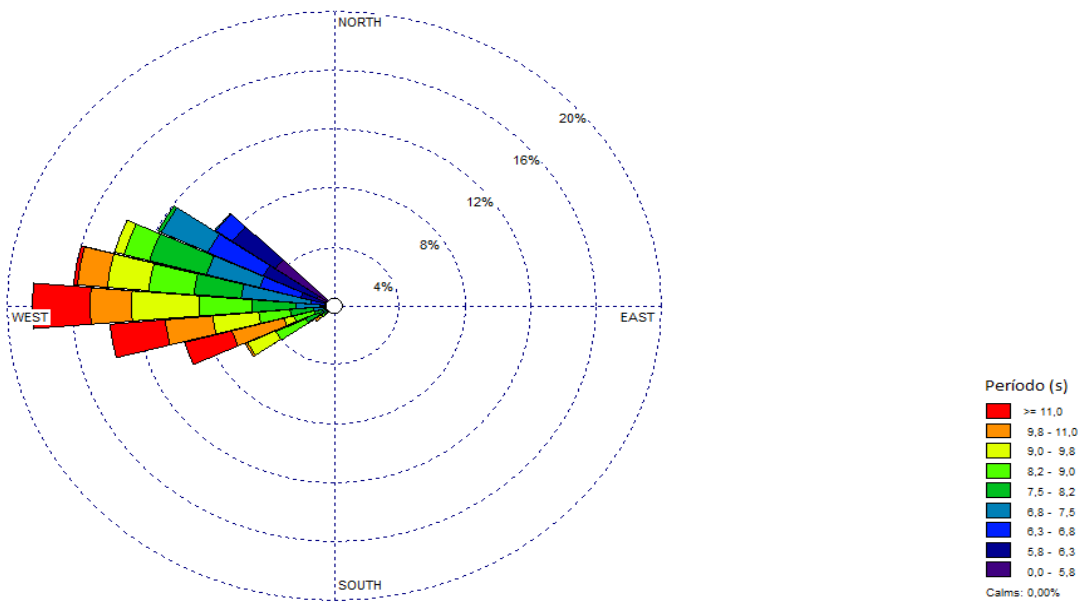


Figura 4.4 - Período da Onda segundo a Direção (Caminha).

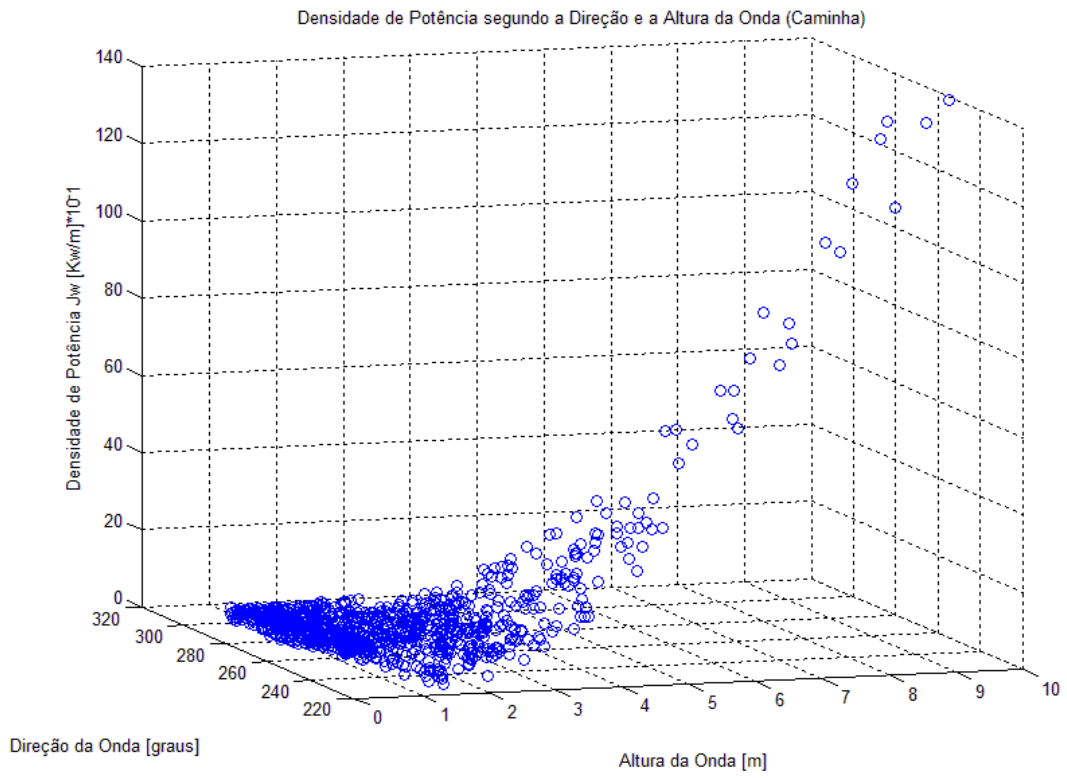


Figura 4.5 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Caminha).

4.2 Esposende

As Figura 4.6 a Figura 4.10 mostram a frequência das alturas e dos períodos da onda, a direção das alturas e dos períodos da onda e a densidade de potência segundo a direção e a altura da onda para a localização de Esposende.

A localidade de Esposende apresenta com 25,1% um intervalo de alturas de onda entre 1,7 e 2,4 m, estando este destacado de todos os outros, uma vez que os intervalos mais significativos seguintes apenas apresentam frequências de 14,1% e 14,6%. É de realçar que os valores de altura iguais ou superiores a 6,5 m tornam-se muito pouco significativos com uma percentagem de apenas 1,5% (Figura 4.6). Na Figura 4.7 observa-se que a direção de onde ocorrem mais ondas é a direção de 275° e 285° (16,96%), embora estejam presentes ocorrências de toda a gama de alturas da onda, por outro lado, no intervalo entre 305° e 315° (15,01%) apenas se atingem alturas entre 2,4 e 3 m de altura. Em relação ao período da onda neste local, salientam-se dois intervalos muito significativos, um com uma percentagem de 15,4% e o outro de 15,7% e os períodos correspondentes aos mesmos intervalos são de, respetivamente, 6,8 a 7,5 s e 7,5 a 8,2 s (Figura 4.8). Nos mesmos intervalos de direção apresentados anteriormente observa-se que no primeiro, os períodos que ocorrem pertencem a todos os intervalos apresentados na Figura 4.9 enquanto no segundo intervalo de direção, o período apenas atinge os valores 6,8 a 7,5 s. Para finalizar, na Figura 4.10, observa-se que o intervalo de alturas para o qual os dispositivos devem ser projetados é para valores até 3m, uma vez que as ondas de altura superior ocorrem muito poucas vezes, para uma direção entre os 260° e os 320°, de forma a se poder obter uma maior eficiência dos mesmos.

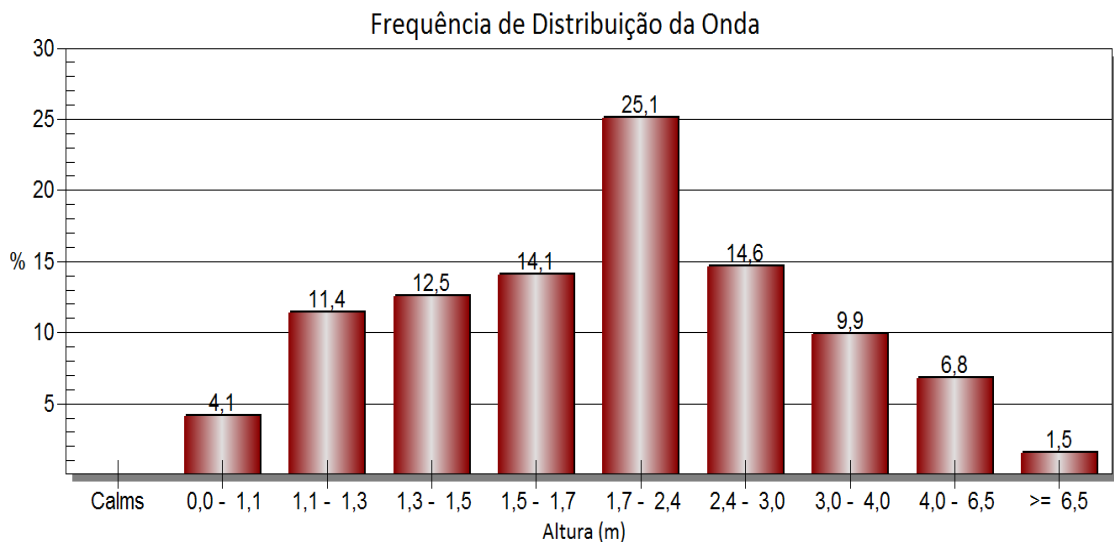


Figura 4.6 - Frequência de Distribuição da Altura da Onda (Esposende).

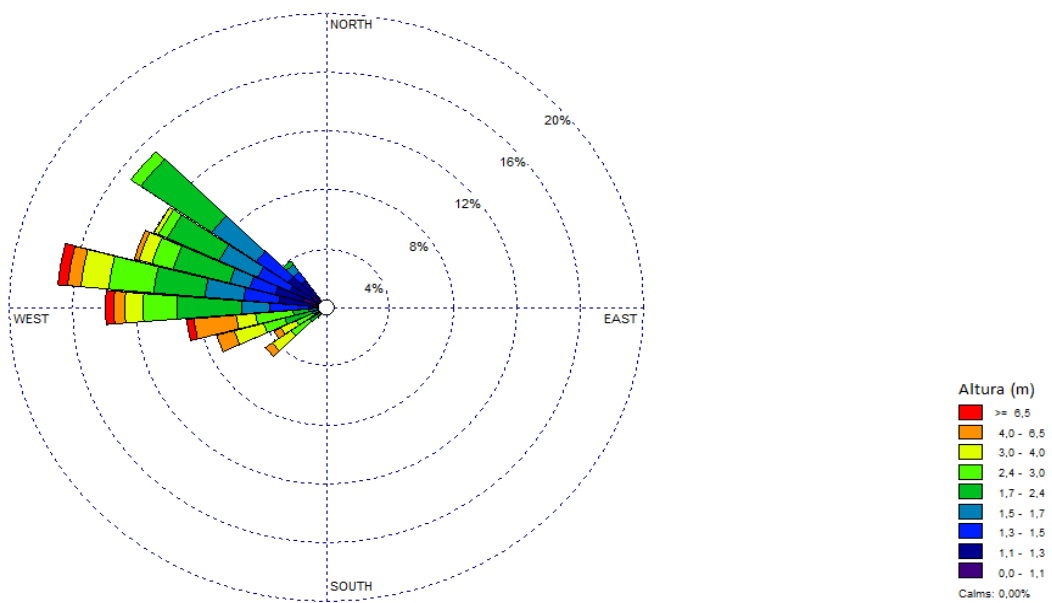


Figura 4.7 - Altura da Onda segundo a Direção (Esposende).

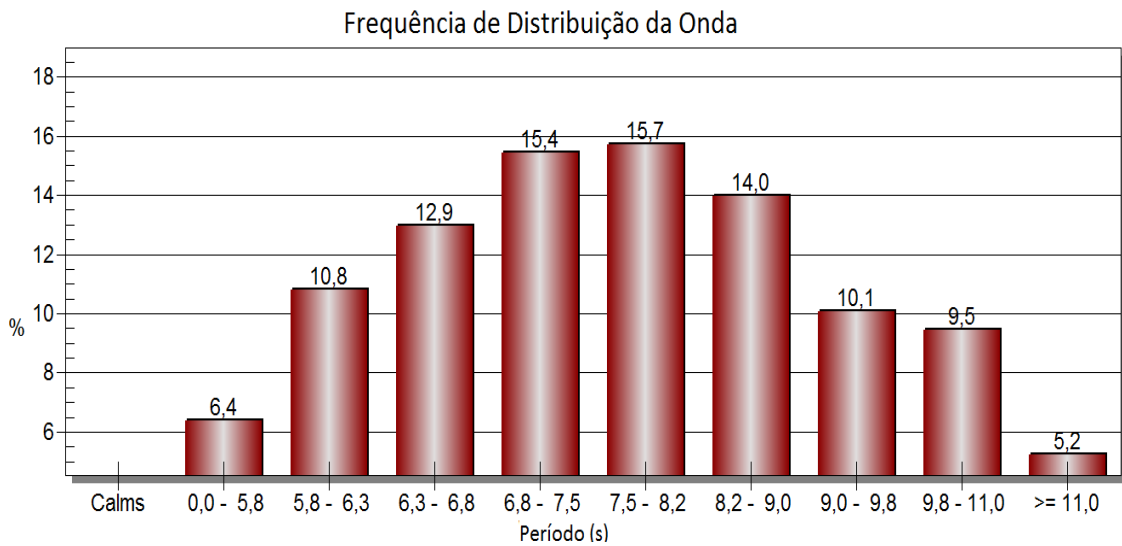


Figura 4.8 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Esposende).

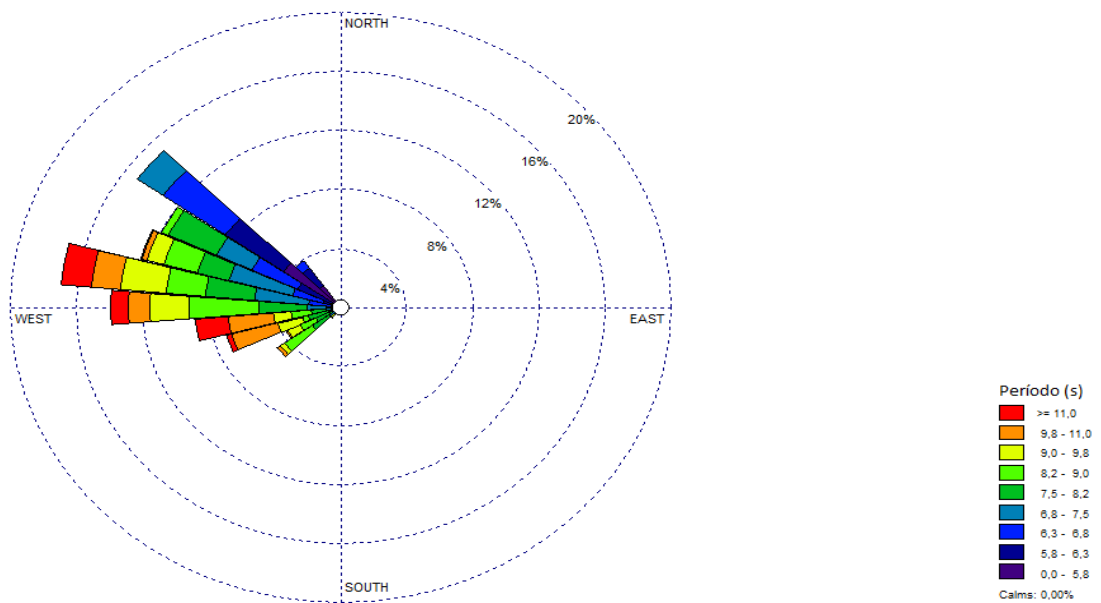


Figura 4.9 - Período da Onda segundo a Direção (Esposende).

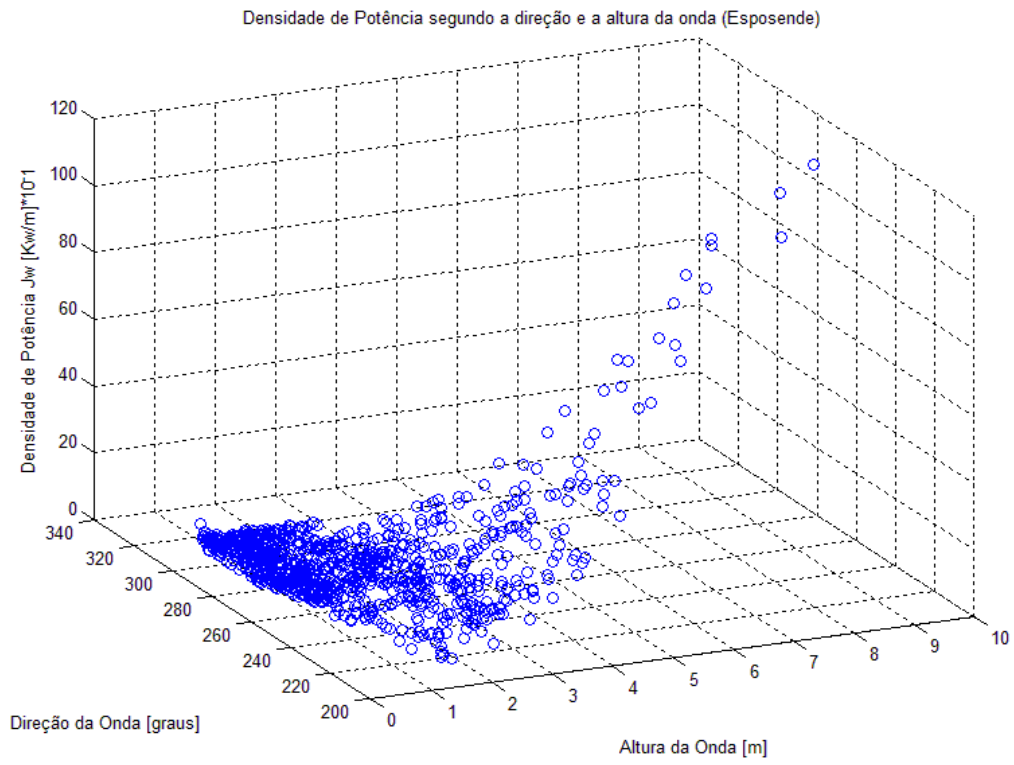


Figura 4.10 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Esposende).

4.3 Aveiro

As Figura 4.11 a Figura 4.15 mostram a frequência das alturas e dos períodos da onda, a direção das alturas e dos períodos da onda e a densidade de potência segundo a direção e a altura da onda para a localização de Aveiro.

Na Figura 4.11 verifica-se que o intervalo de alturas de onda mais frequente é novamente entre os 1,7 e o 2,4 m (26,6%), sendo esta uma percentagem destacada dos outros intervalos. Nesta localização os intervalos entre 0 e 1,1 m e iguais ou superiores a 6,5 m são muito pouco significativos, uma vez que apresentam percentagens de ocorrência muito baixas (1,7% e 2,1% respetivamente). A direção mais frequente encontra-se entre 265° e 275°, contendo-se nestas direções todas as gamas de altura de onda, desde as mais baixas às mais altas. O período mais frequente (com 17,5% de ocorrência) está entre os valores 6,8 e 7,5 s, sendo nesta localização mais frequentes ondas com períodos mais altos (Figura 4.13) ao invés das localizações anteriores. Mais uma vez é de notar que nas direções entre 265° e 275° onde ocorrem mais ondas o valor do período não é tão regular, uma vez que ocorrem ondas com períodos muito pequenos e ondas com períodos mais elevados. A Figura 4.15 é bem ilustrativa de como devem ser projetados os dispositivos para este local; assim, deverão ser projetados dispositivos dedicados a ondas entre o 1 e os 3 m e com direções entre os 240° e os 320°, desprezando-se desta forma as ondas de maior densidade mas com frequência de ocorrência muito baixas.

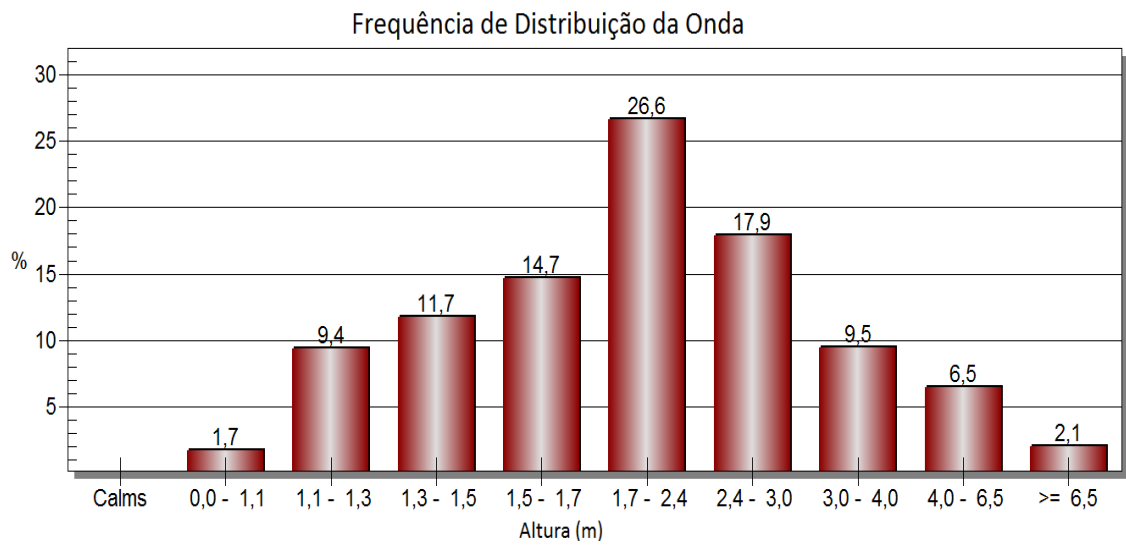


Figura 4.11 - Frequência de Distribuição da Altura da Onda (Aveiro).

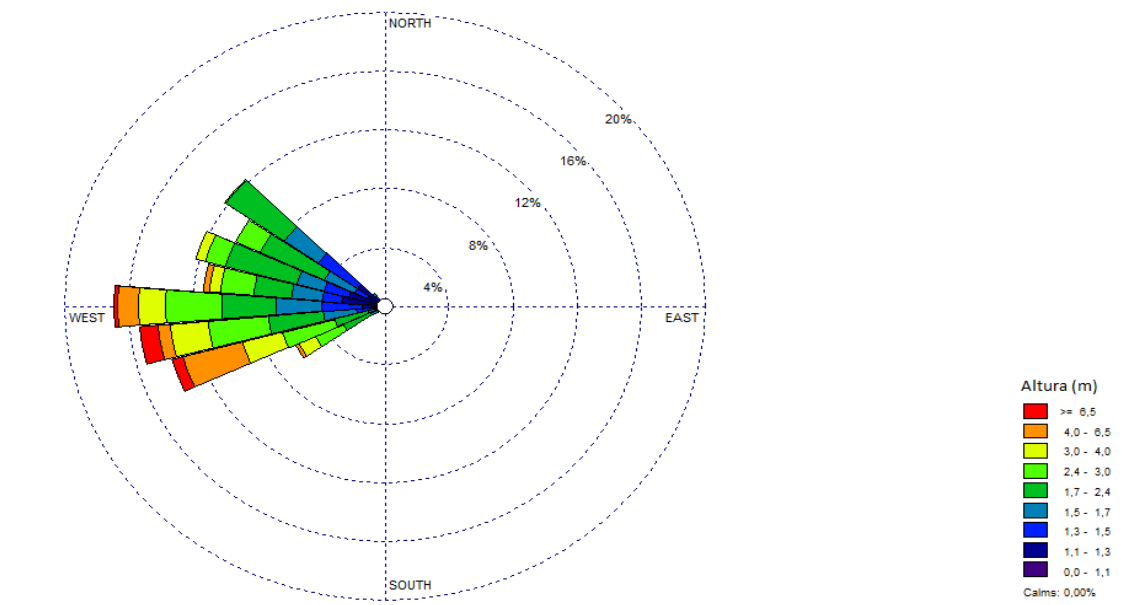


Figura 4.12 - Altura da Onda segundo a Direção (Aveiro).

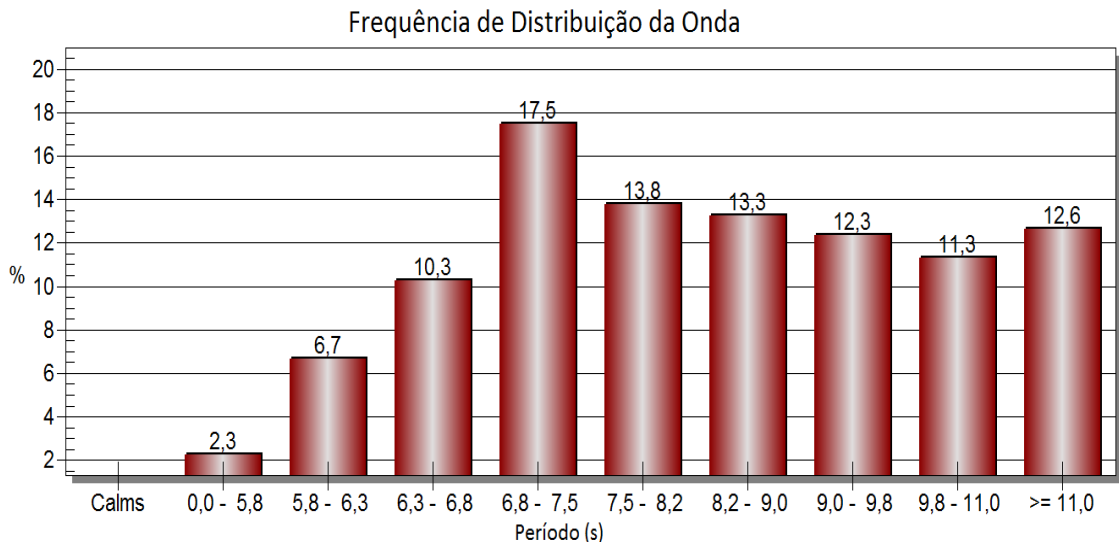


Figura 4.13 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Aveiro).

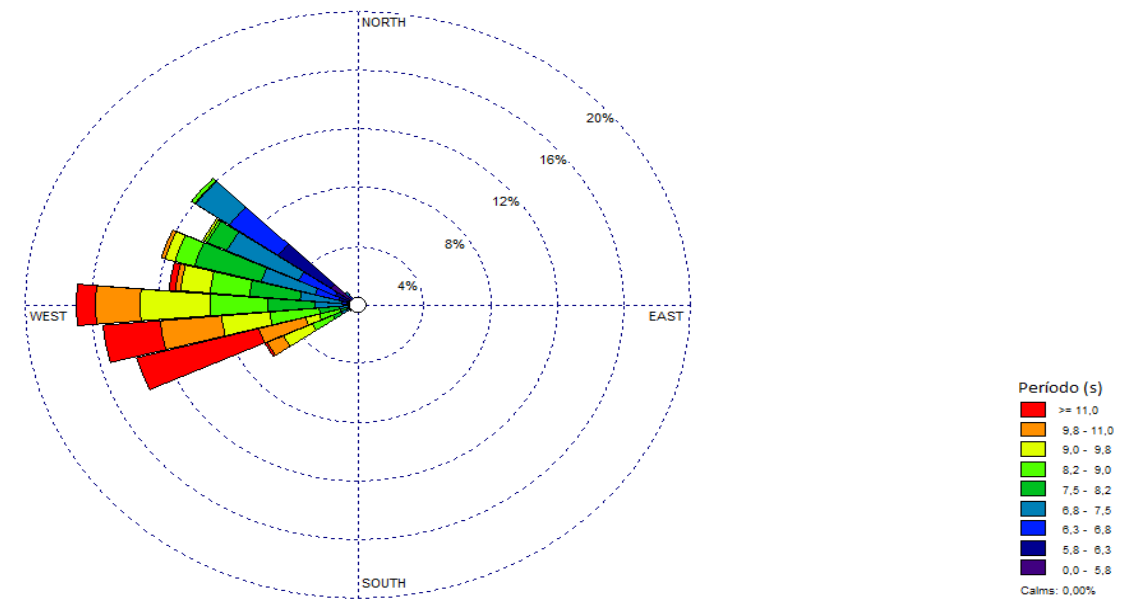


Figura 4.14 - Período da Onda segundo a Direção (Aveiro).

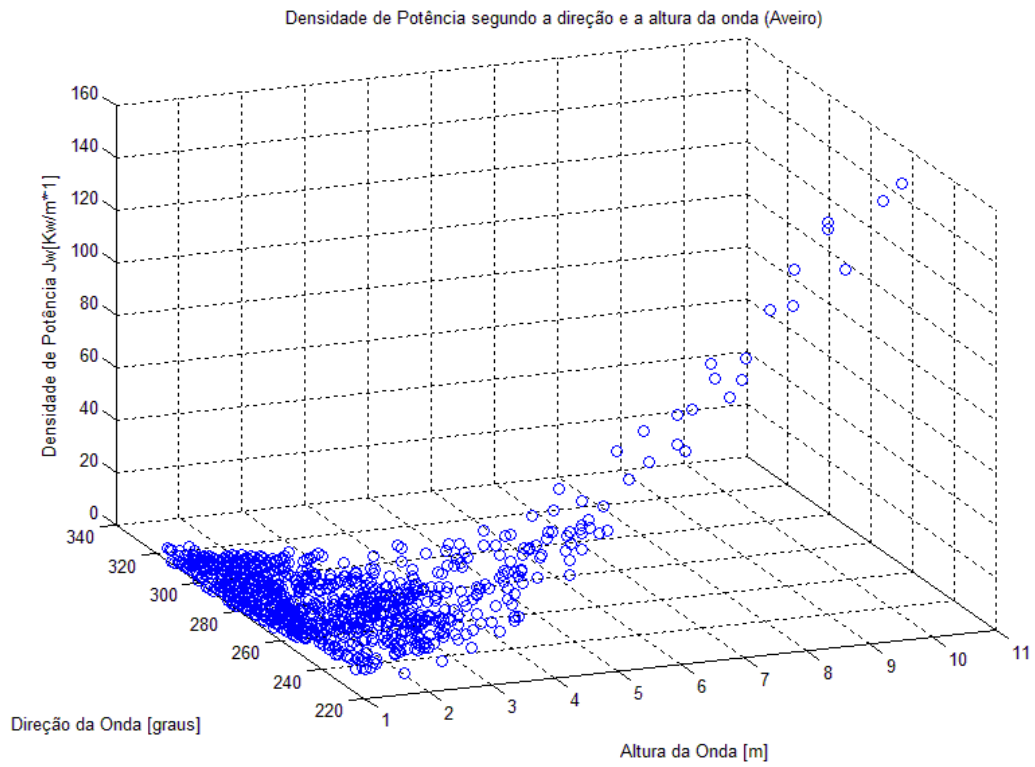


Figura 4.15 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Aveiro).

4.4 Peniche

As Figura 4.16 a Figura 4.20 mostram a frequência das alturas e dos períodos da onda, a direção das alturas e dos períodos da onda e a densidade de potência segundo a direção e a altura da onda para a localização de Peniche.

Curiosamente, Peniche é uma localização para a qual as ondas apresentam alguma particularidade no que diz respeito à sua distribuição em termos de alturas, como se observa na Figura 4.16; existem dois intervalos com maior frequência: 20,9% o intervalo de 0 a 1,1 m e 18,5% o intervalo entre 1,7 e 2,4 m. A direção mais frequente é a situada entre os 255° e os 265° como ilustrado na Figura 4.17, existindo neste intervalo ondas distribuídas em vários os intervalos de altura. O período das ondas é muito regular uma vez que a diferença entre intervalos de frequência é mínima para períodos a partir dos 6,8 s, embora o período com maior ocorrência, com muito pouca diferença, se situa no intervalo de 6,8 a 7,5 s. Na direção em que as ondas mais ocorrem (entre 255° e 265°) verifica-se que os períodos com maior ocorrência são os com períodos a partir dos 6,8s (Figura 4.19) como também se tinha visto na figura anterior. Como se pode constatar na Figura 4.20 as ondas variam entre as direções 250° e 285° aproximadamente, e por isso para a altura o dispositivo deve estar dimensionado para funcionar com ondas entre os 0,5 e 2 m de altura, uma vez que apesar de a densidade de potência ser mais baixa, existe uma afluência de ondas muito mais elevada.

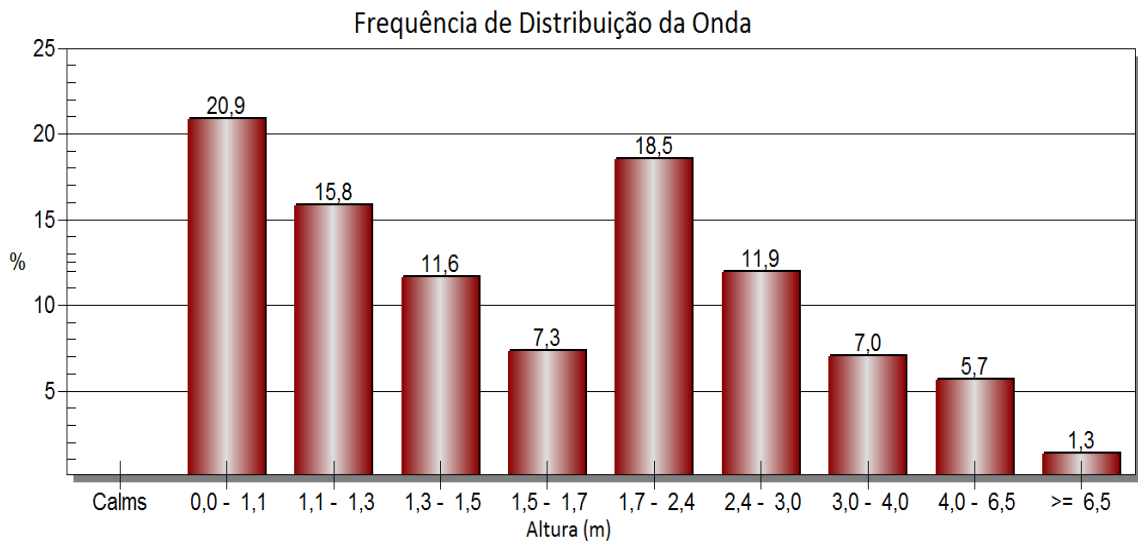


Figura 4.16 - Frequência de distribuição da Altura da Onda (Peniche).

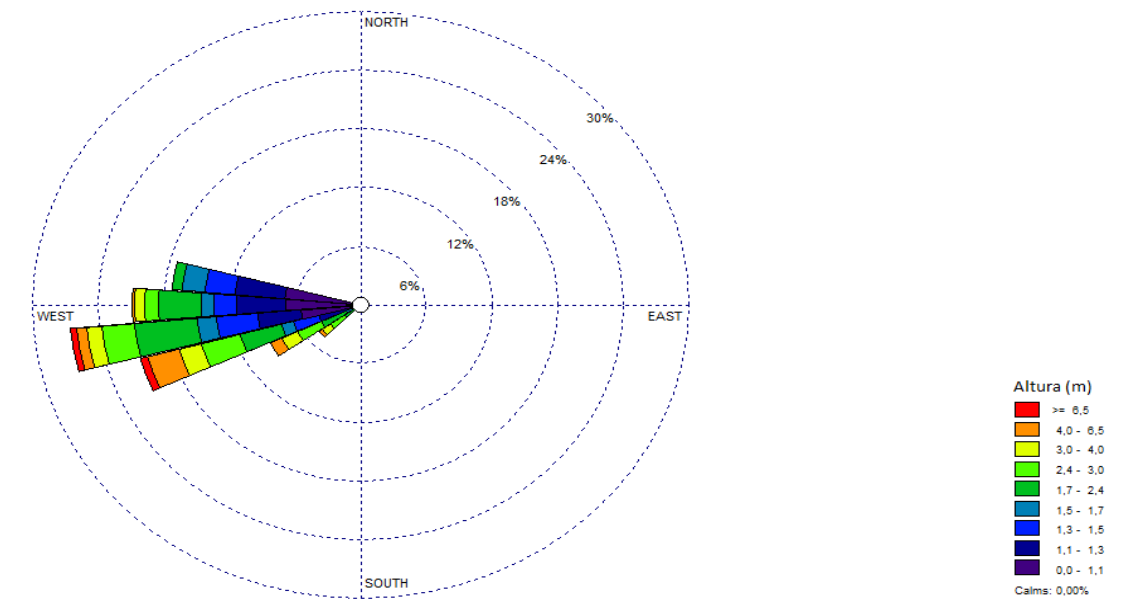


Figura 4.17 - Altura da Onda segundo a Direção (Peniche).

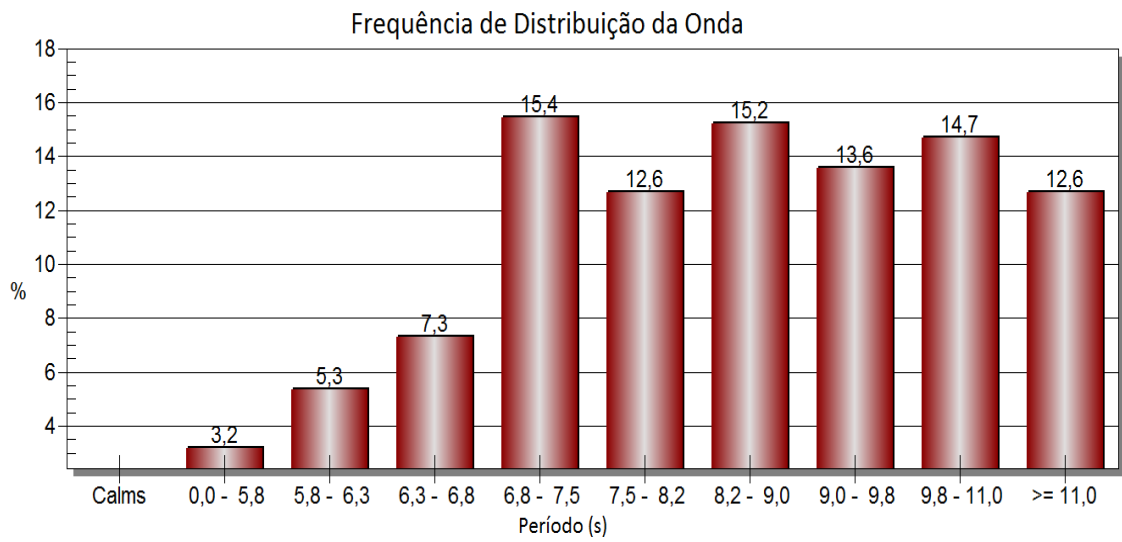


Figura 4.18 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Peniche).

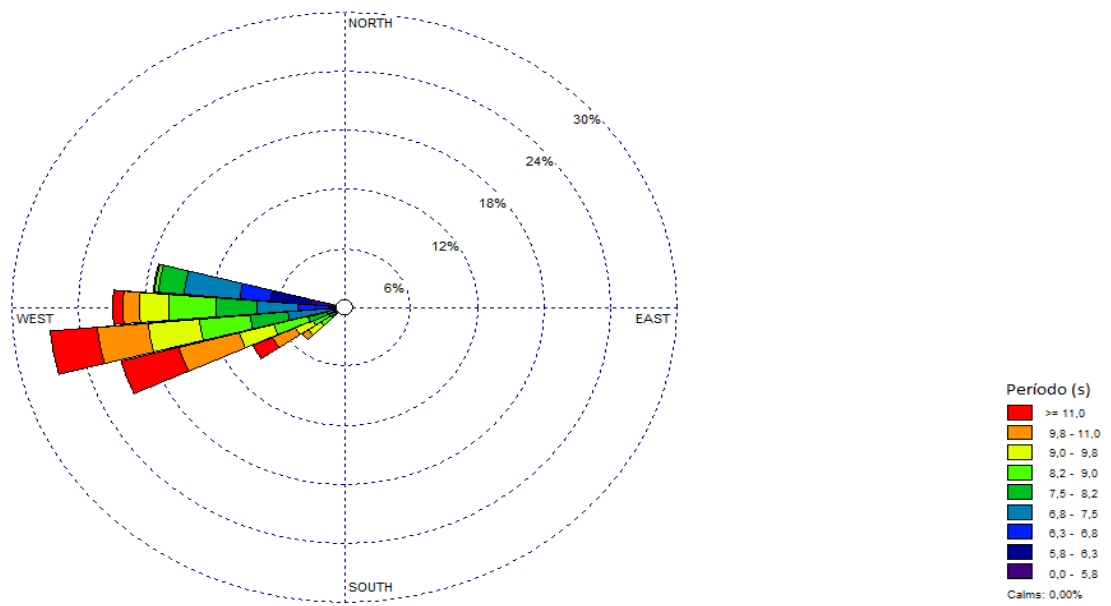


Figura 4.19 - Período da Onda segundo a Direção (Peniche).

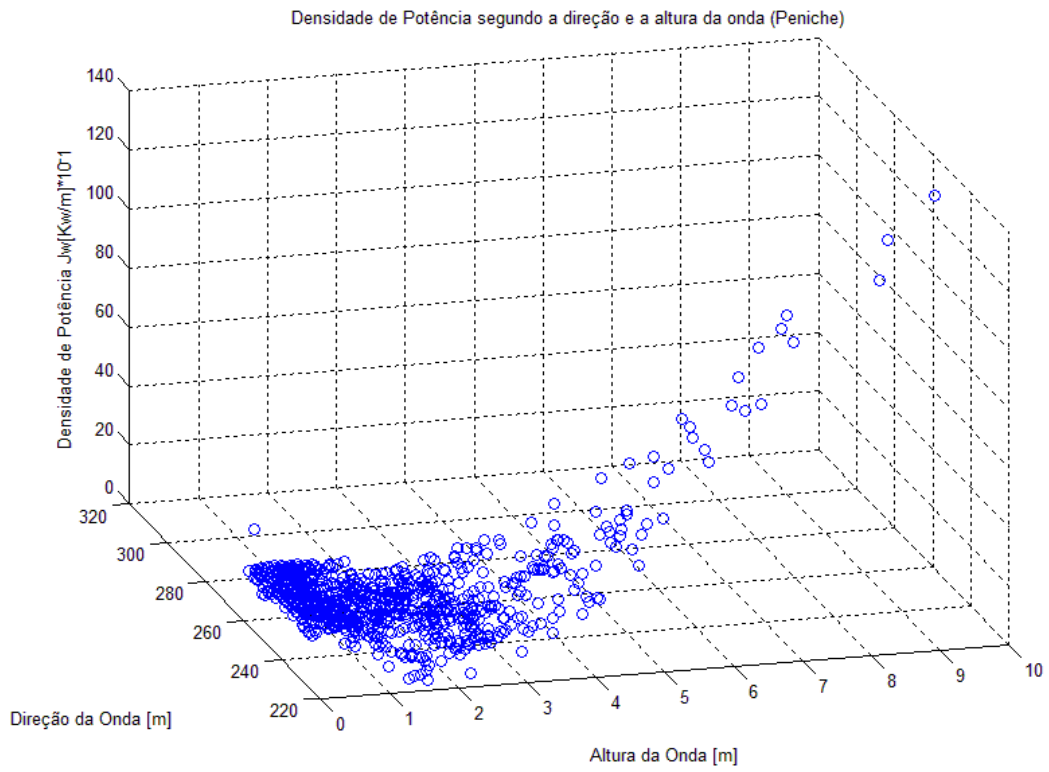


Figura 4.20 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Peniche).

4.5 Cabo da Roca

As Figura 4.21 a Figura 4.25 mostram a frequência das alturas e dos períodos da onda, a direção das alturas e dos períodos da onda e a densidade de potência segundo a direção e a altura da onda para a localização de Cabo da Roca.

Observa-se que para a localização de Cabo da Roca as ondas têm mais frequência de ocorrência nas alturas de 1,7 a 2,4 m com uma percentagem de 31%, ficando bem distanciados os outros intervalos de altura de onda. A incidência das ondas neste local intensifica-se em dois intervalos de direções (285° a 295°) e (315° a 325°); para o primeiro intervalo nota-se que as alturas mais predominantes são as que se encontram entre 1,7 e 3 m contendo no entanto ondas com alturas superiores a 3 m e no segundo intervalo variam entre os 1,1 e os 3 m (Figura 4.21 e Figura 4.22). Para esta localização com 18,3% encontram-se as ondas com período entre os 6,8 e 7,5 s e com ligeira diferença seguem-se os valores compreendidos entre os 6,3 e os 9 s. Nos mesmos intervalos de direção referidos atrás observa-se que o período é mais elevado no primeiro intervalo e mais baixo no segundo, atingindo os 8,2 s (Figura 4.23 e Figura 4.24). Perante os valores observados na Figura 4.25, conclui-se que o gerador adequado deverá estar dimensionado para funcionar com ondas com alturas entre os 1 e 3 m e para as direções entre os 280° e 330°, que por sua vez é onde se encontra um maior potencial energético das ondas.

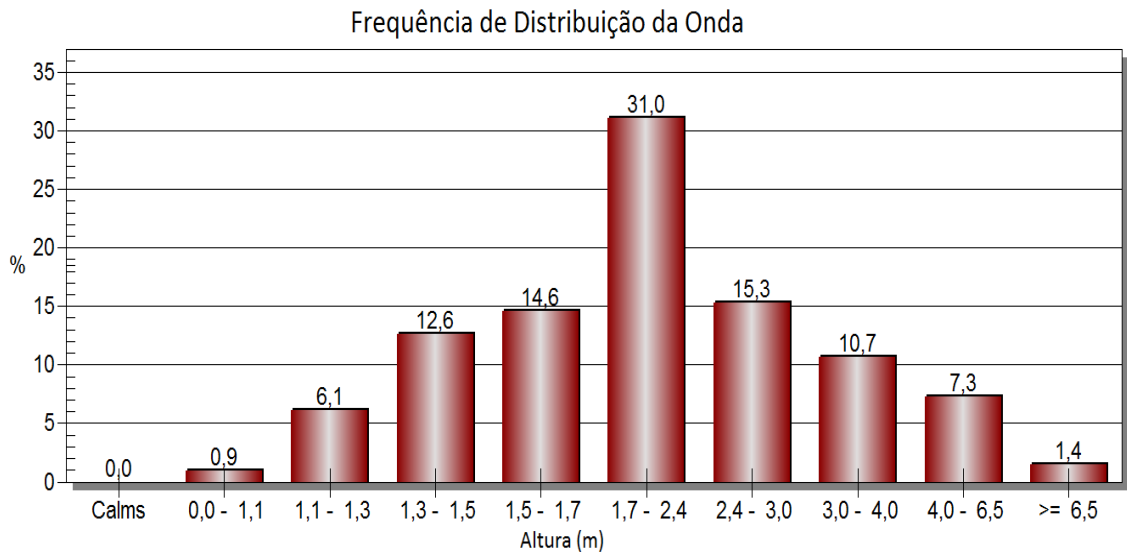


Figura 4.21 - Frequência de Distribuição da Altura da Onda (Cabo da Roca).

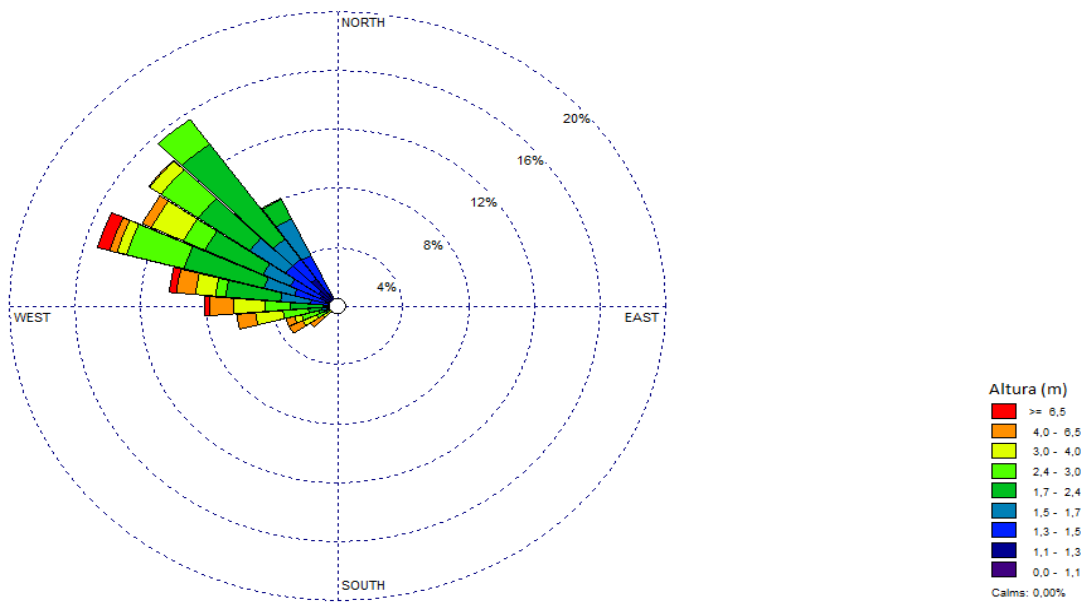


Figura 4.22 - Altura da Onda segundo a Direção (Cabo da Roca).

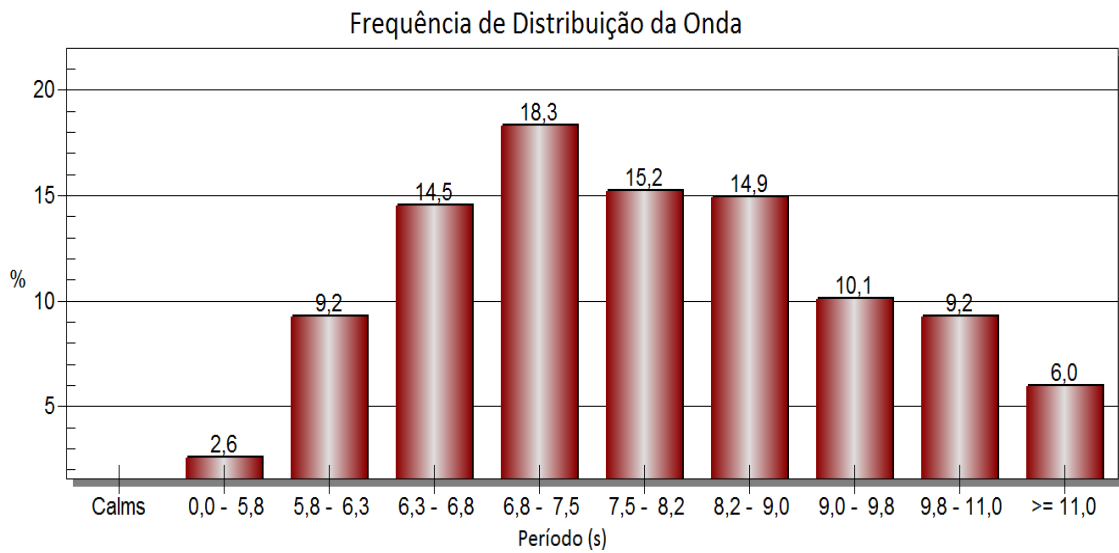


Figura 4.23 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Cabo da Roca).

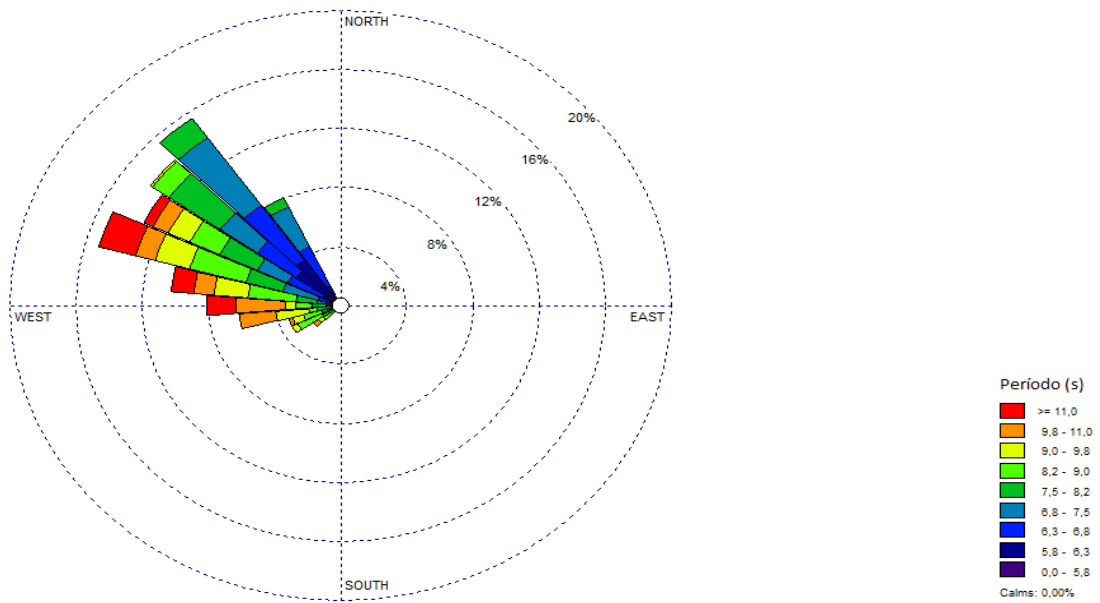


Figura 4.24 - Período da Onda segundo a Direção (Cabo da Roca).

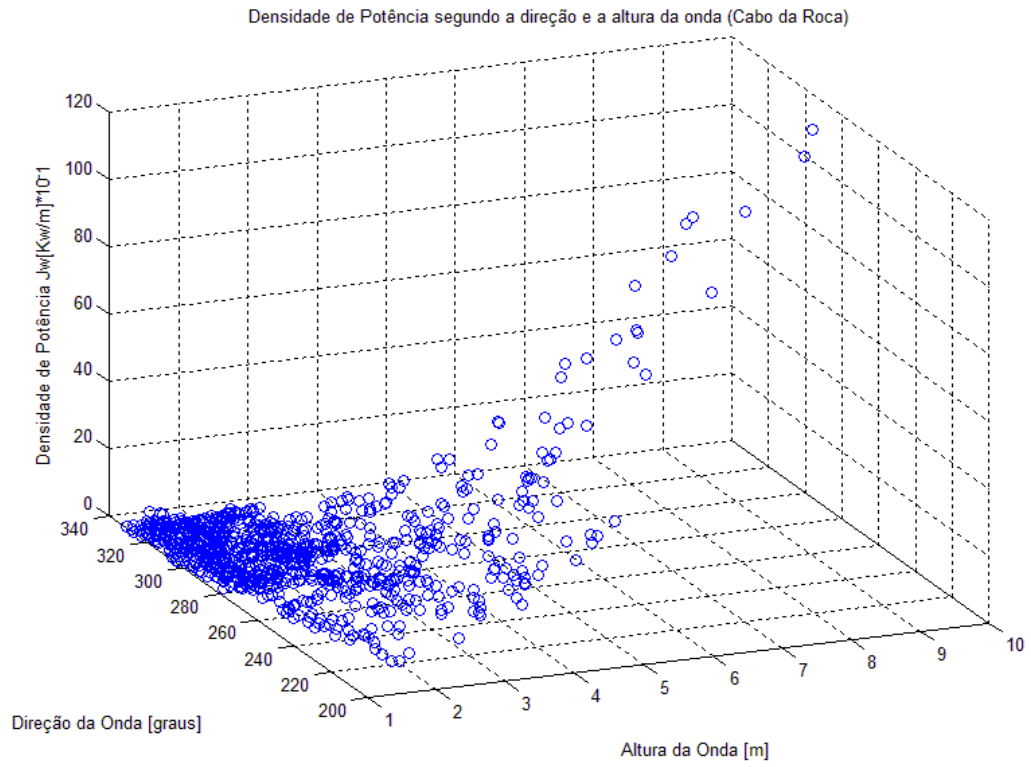


Figura 4.25 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Cabo da Roca).

4.6 Baía de Cascais

As Figura 4.26 a Figura 4.30 mostram a frequência das alturas e dos períodos da onda, a direção das alturas e dos períodos da onda e a densidade de potência segundo a direção e a altura da onda para a localização de Baía de Cascais.

Para a localização de Baía de Cascais, e ao observar-se a Figura 4.26, sobressai de imediato o valor de 39,5% de ocorrência no intervalo de alturas entre os 0 e os 1,1 m sendo desprezíveis os outros valores de altura das ondas uma vez que a sua ocorrência é muito inferior. As direções nesta zona ocorrem em dois intervalos (entre 245° e 255°) e (entre 255° e 265°), Figura 4.27. Já os períodos mais frequente são nos intervalos de 6,8 a 7,5 s e de 9,8 a 11 s; fazendo a correspondência entre o período e a direção, observa-se que no primeiro intervalo a incidência em valores mais elevados é superior comparando com o segundo intervalo (Figura 4.28 e Figura 4.29). Como esperado os dispositivos de captação de energia têm de estar dimensionados para direções entre os 240° e 260° e para alturas a variar entre os 0 e 2m, como se constata na Figura 4.30.

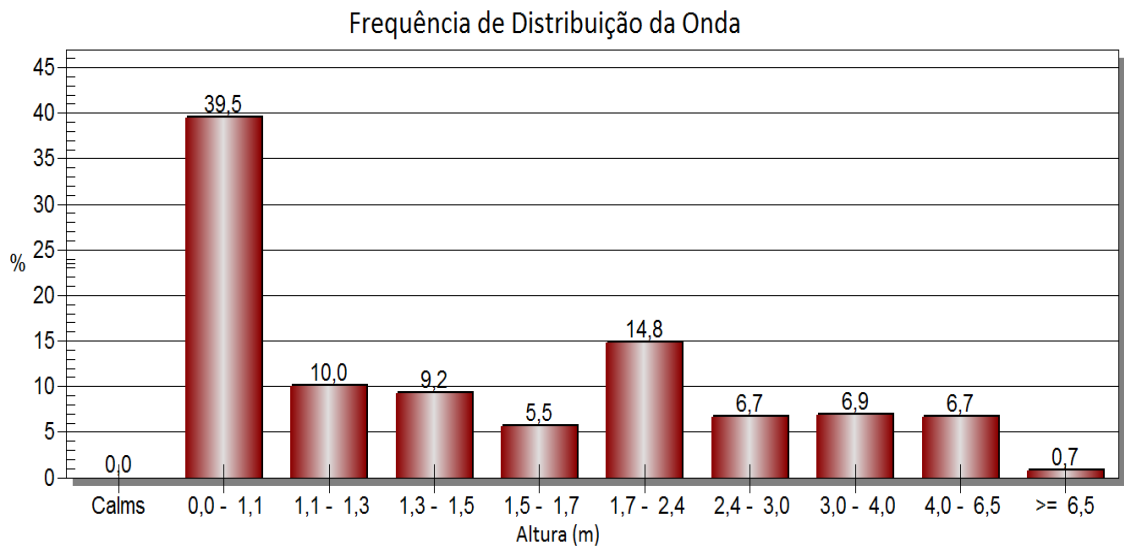


Figura 4.26 - Frequência de Distribuição da Altura da Onda (Baía de Cascais).

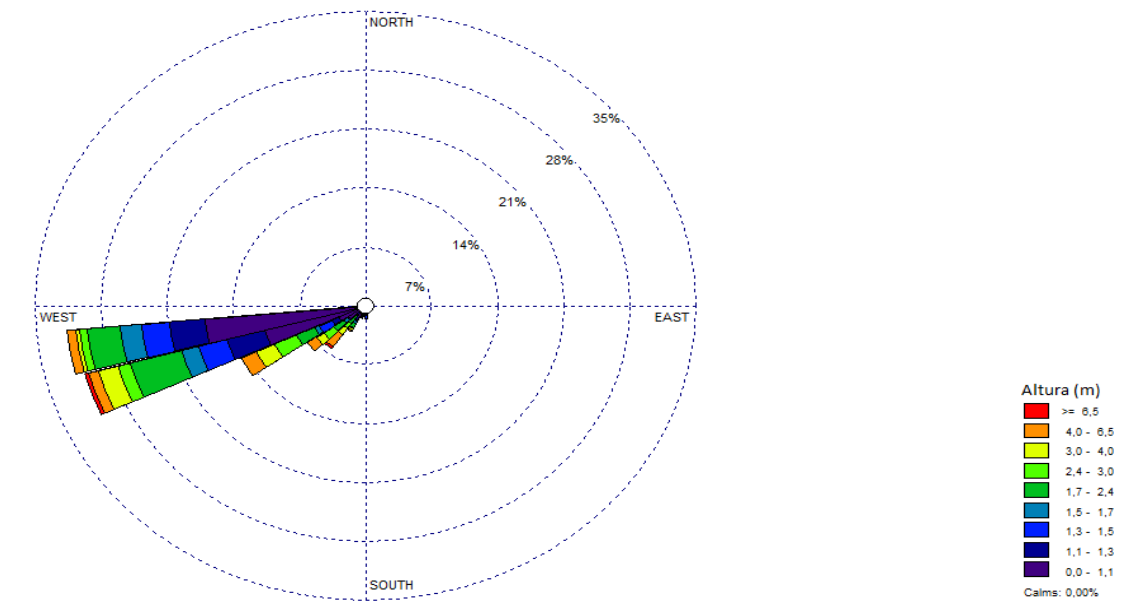


Figura 4.27 - Altura da Onda segundo a Direção (Baía de Cascais).

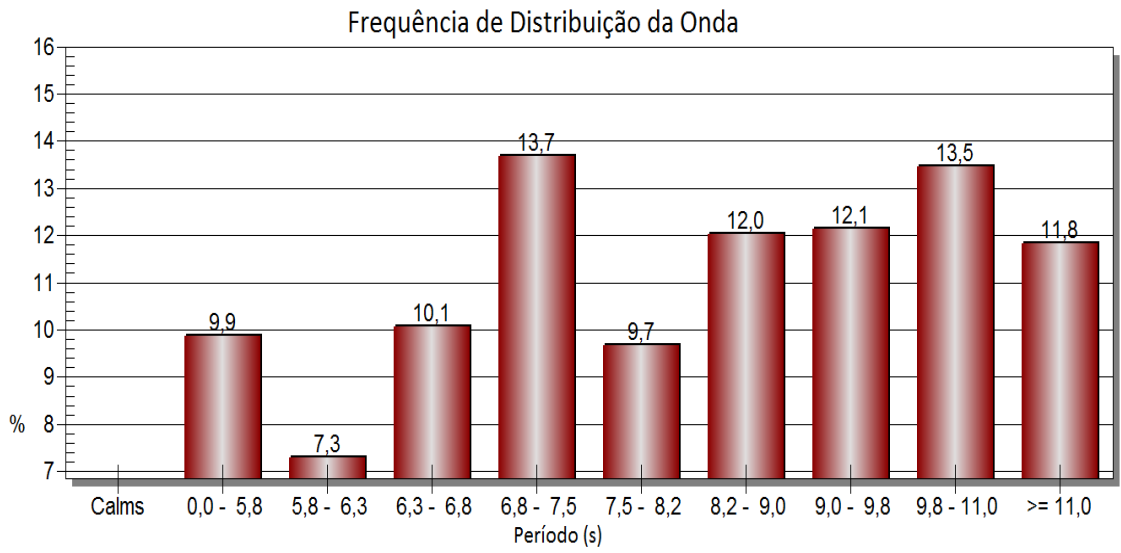


Figura 4.28 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Baía de Cascais).

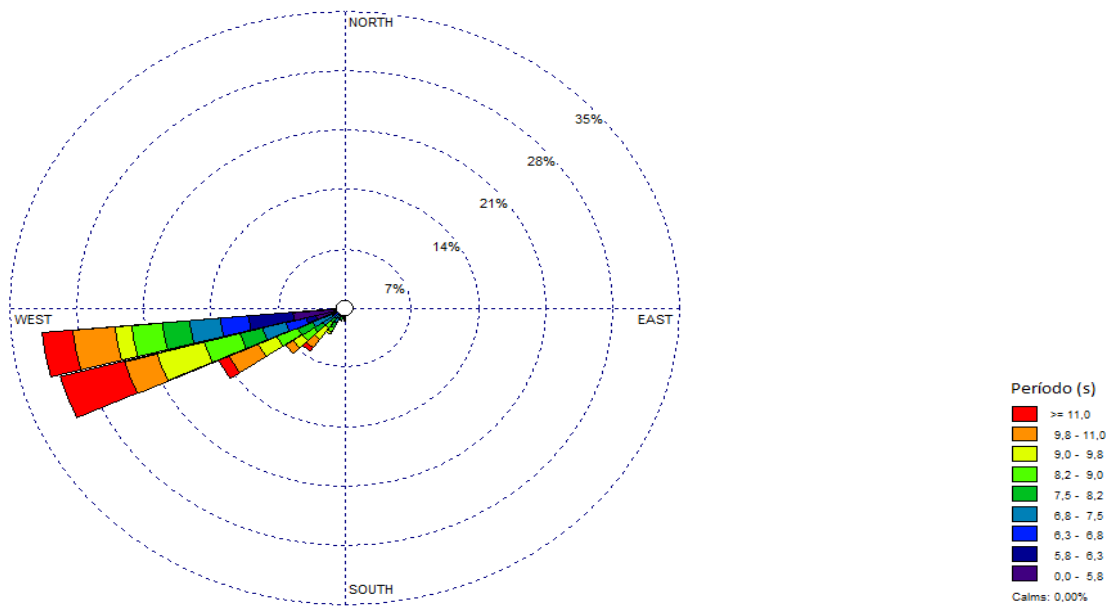


Figura 4.29 - Período da Onda segundo a Direção (Baía de Cascais).

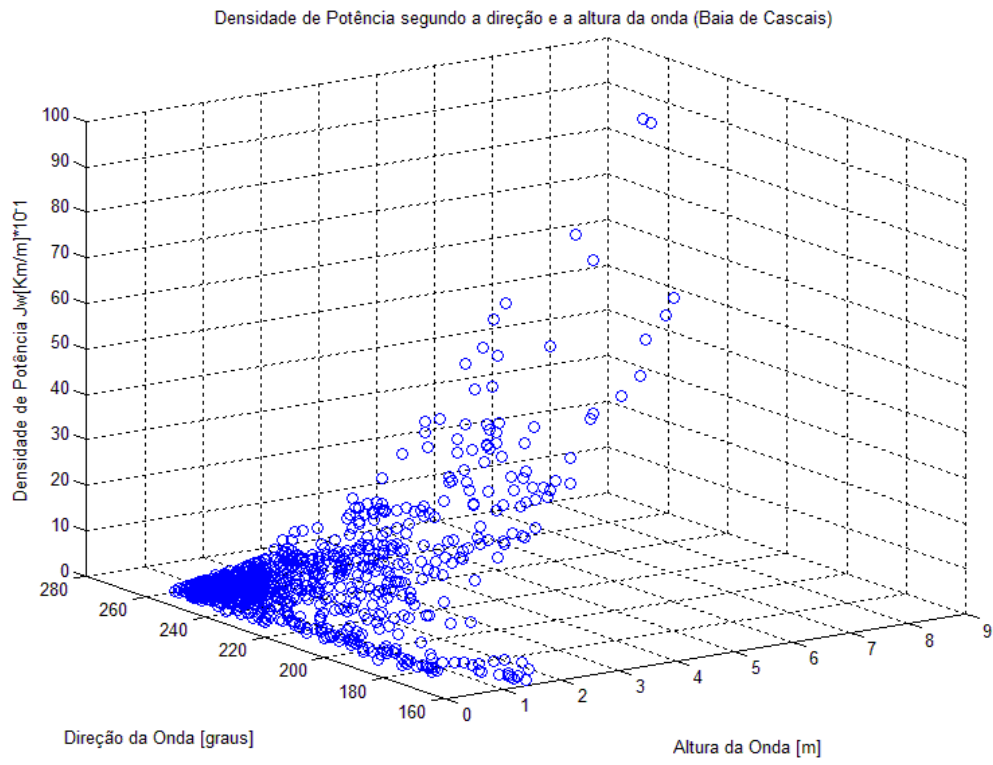


Figura 4.30 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Baia de Cascais).

4.7 Costa da Galé

As Figura 4.31 a Figura 4.35 mostram a frequência das alturas e dos períodos da onda, a direção das alturas e dos períodos da onda e a densidade de potência segundo a direção e a altura da onda para a localização de Baía de Cascais.

Na Costa da Galé a altura da onda mais predominante, com 28%, encontra-se entre 0 e 1,1 m, sendo pouco significativa (0,2%) a ocorrência de ondas com alturas superiores a 6,5 m (Figura 4.31). Observa-se também que é segundo as direções entre 255° e 265° que se obtém a maior ocorrência de ondas; por outro lado é também nestas orientações que ocorrem as ondas com amplitudes superiores (Figura 4.32). Na Figura 4.33 e na Figura 4.34 observam-se a frequência do período e a direção da onda para cada intervalo dos valores do período respetivamente; do primeiro gráfico conclui-se que o período que mais ocorre (21%) tem valores entre os 0 e 5,8 s, no segundo gráfico verifica-se que as direções de onde ocorrem ondas com períodos um pouco mais elevados (superiores a 7,5 s) atingindo mesmo a escala dos valores do período mais elevada (≤ 11 s) são entre 255° e 265°. Por fim, na Figura 4.5, são representados os valores da Densidade de Potência segundo a direção e a Altura da Onda. Torna-se mais fácil de observar nesta figura que apesar de haver ondas com densidades de potência mais elevada, estas ocorrem menos vezes, implicando que um dispositivo construído para captar estas densidades encontrar-se-ia com um rendimento muito baixo. Para tal, depois de se observar a figura conclui-se que para a localização de Costa da Galé se deve optar por construir um dispositivo para ondas numa gama de alturas de onda até os 2 m e para direções que variem entre os 260° e os 290°, para que as forças aplicadas pelas ondas no eixo horizontal sejam suportadas pelo dispositivo.

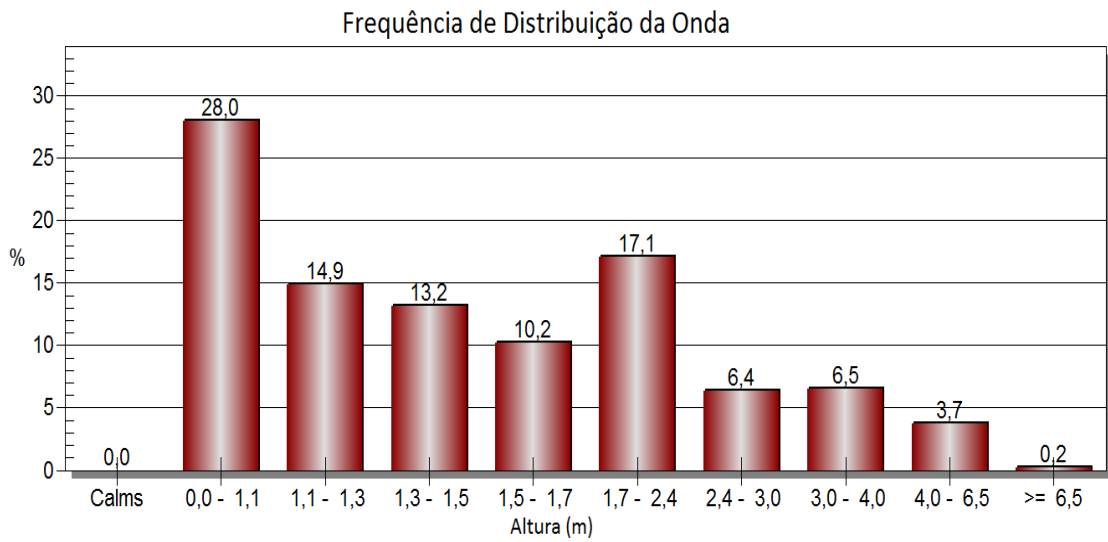


Figura 4.31 - Frequência de Distribuição segundo a Altura da Onda (Costa da Galé).

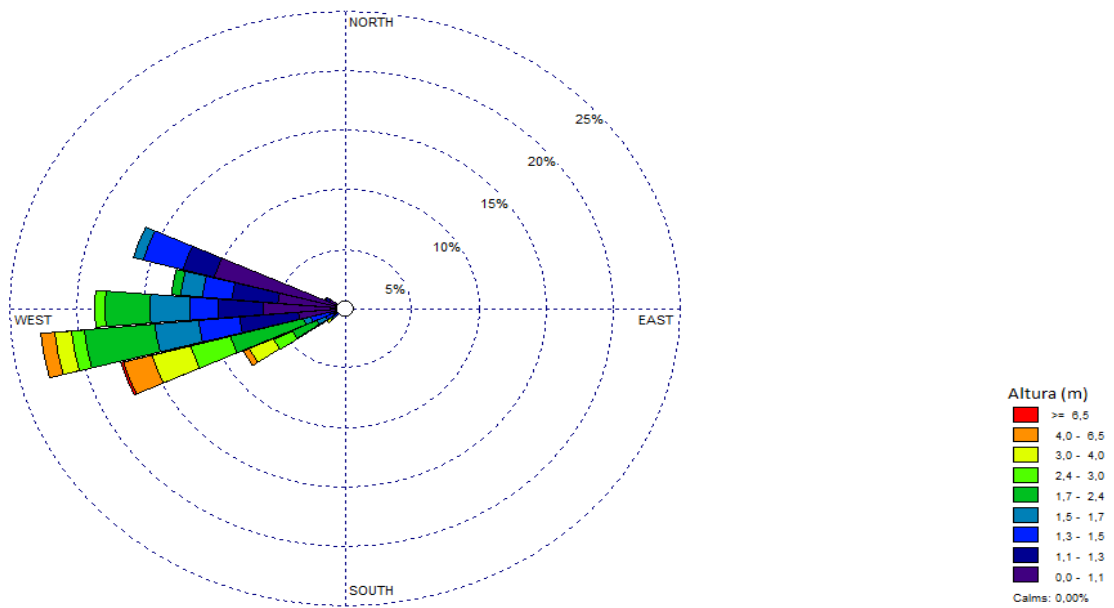


Figura 4.32 - Altura da Onda segundo a Direção (Costa da Galé).

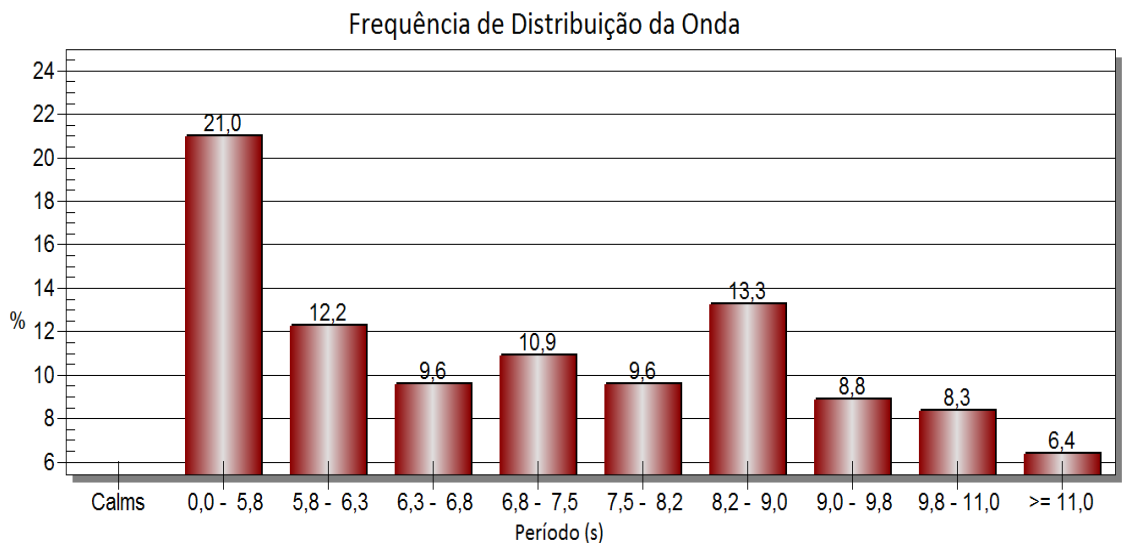


Figura 4.33 - Frequência de Distribuição do Período da Onda (Costa da Galé).

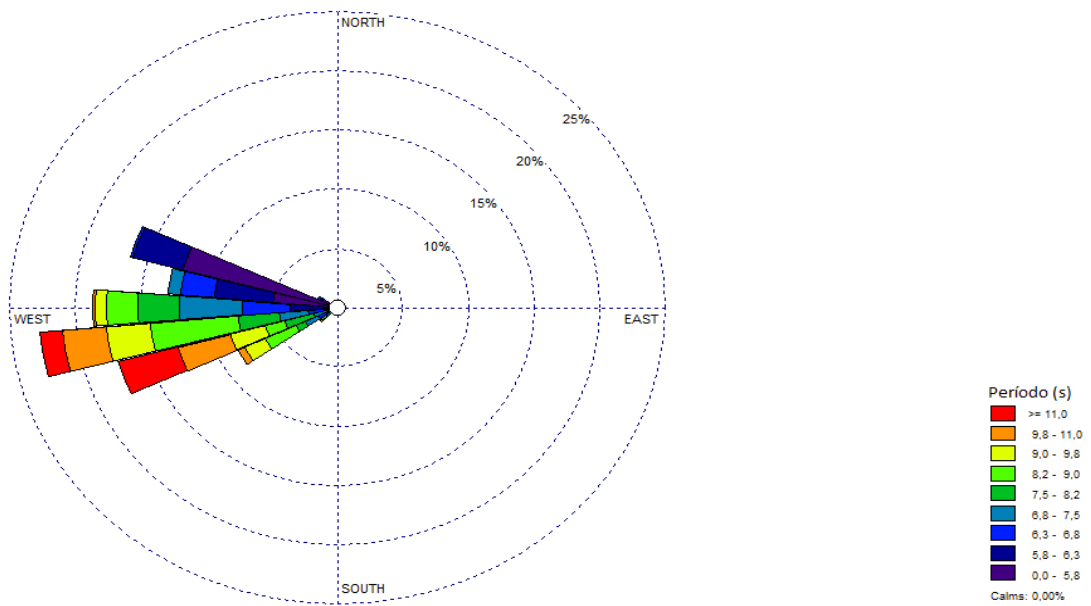


Figura 4.34 - Período da Onda segundo a Direção (Costa da Galé).

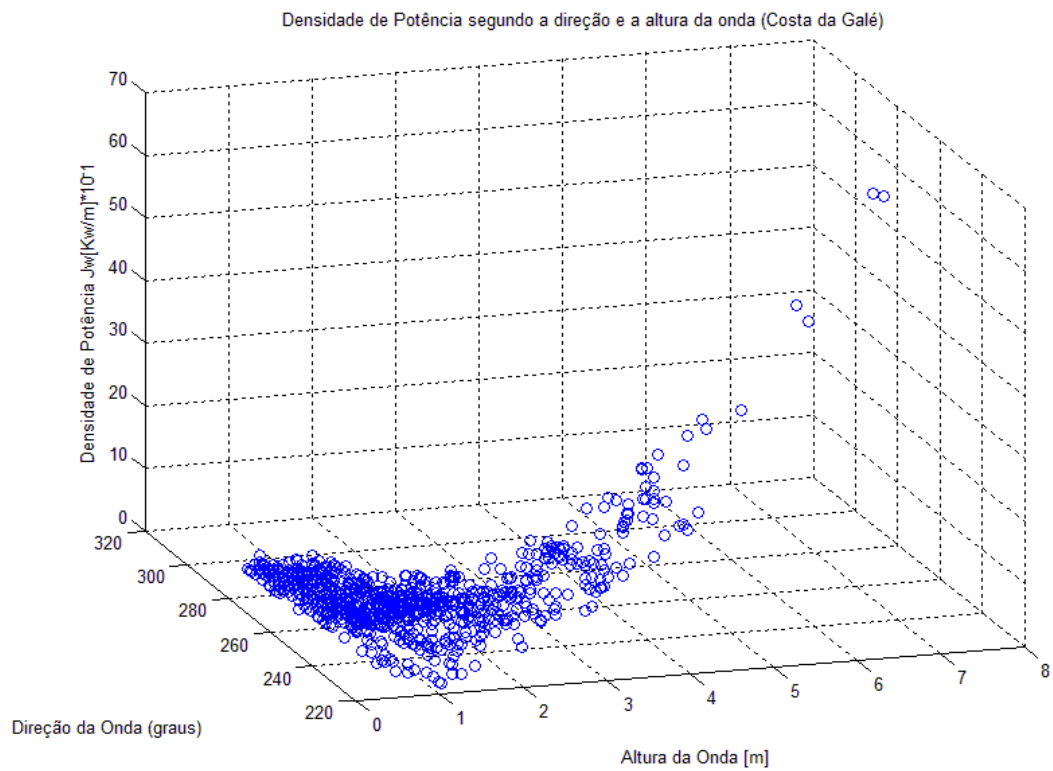


Figura 4.35 - Densidade de Potência segundo a Direção e a Altura da Onda (Costa da Galé).

Capítulo 5

5 Conclusões

A aposta de desenvolver este trabalho surgiu do decorrer de trabalhos realizados anteriormente nesta Universidade, uma vez que foi identificada uma abordagem ainda não adotada na procura dos melhores parâmetros nominais para dimensionamento de geradores lineares de energia das ondas do mar. Os trabalhos anteriores abordaram o desenvolvimento de tecnologias de geração de energia das ondas tendo como informação meteorológica marítima a altura e o período das ondas, não considerando a direção do deslocamento das ondas e assumindo que só existiria movimento vertical das ondas. Daí, o interesse de desenvolver uma análise em torno da direção de ataque da onda no dispositivo, estudo esse que foi desenvolvido neste trabalho.

Por sua vez o incentivo de realizar esta dissertação sobre as energias renováveis, deve-se ao elevado aumento do consumo de energia verificado, e à pressão económico-ambiental para a necessidade de se obter um nível de energia renovável mais elevada, em alternativa à energia mais usual proveniente dos combustíveis fósseis. Foi escolhida a energia das ondas pela sua potencialidade mundial e principalmente porque o nosso país é detentor de uma considerável zona exclusiva marítima e de uma costa de grande extensão. Também, geograficamente colocado entre as latitudes 30° e 60°, Portugal usufrui de condições favoráveis à extração de energia das ondas, já que aqui ocorre das maiores atividades de ondas no planeta.

Para se realizar este trabalho foi necessário conhecer alguns aspetos sobre esta energia como por exemplo conhecer as condicionantes existentes e as variáveis que são envolvidas na sua caracterização.

Também foi necessário ver a origem das ondas e perceber a sua evolução. Para tal foi necessário recorrer à teoria linear das ondas para que através de expressões matemáticas chegássemos a resultados pretendidos para a caracterização dos locais na costa. Esta teoria tem algumas premissas que foram necessárias adotar para que se consigam valores perto do que se obtém na realidade; estas premissas foram descritas de forma conveniente no capítulo 3.2.

Numa fase posterior, a teoria linear das ondas foi adotada para o cálculo das grandezas pretendidas, usando uma folha de cálculo do programa *Microsoft Office Excel* e com recurso à ferramenta das funções, introduzindo todas as expressões dessa teoria. A seguir à elaboração da tabela foi necessário obter os gráficos correspondentes à visualização dos valores obtidos.

Os gráficos foram realizados através de dois programas diferentes, numa primeira fase usou-se o *WRPLOT View* e obtiveram-se os gráficos da frequência de altura da onda, da frequência de período da onda, da direção de altura da onda e da direção de período da onda. Através destes gráficos é possível observar-se a tendência das ondas em cada localização para as referidas características, individualmente. Numa segunda fase através do programa *Matlab* construíram-se gráficos considerando três variáveis em simultâneo: a densidade de potência em função da direção da onda e da altura da onda. Com base na informação retirada destes gráficos poder-se-á concluir que nem todos os valores obtidos dos parâmetros são ideais para o dimensionamento dos dispositivos de conversão de energia das ondas.

Em cada subcapítulo do capítulo 4 faz-se uma observação mais detalhada dos gráficos apresentados para cada localização. Ainda assim, de uma forma mais superficial conclui-se que os dispositivos projetados têm características de construção e funcionamento diferentes uns dos outros. Isto deve-se ao facto de o mar (ondas) terem comportamentos diferentes ao longo da costa portuguesa.

Para a localização de Caminha, os dispositivos deverão suportar forças de direção 260° a 300° e ser dimensionados para valores de altura da onda até 3 m.

Em Esposende as características das ondas não é muito diferente, uma vez que estas localizações se encontram relativamente perto uma da outra, a principal diferença é que os valores da direção da onda variam entre os 260° e os 320°.

Aveiro tem como principal característica o facto de zona impacto das ondas ser entre as direções de 240° e de 320°; as alturas com maior ocorrência são até 3 m.

Já em Peniche as características das ondas e conseqüentemente do dispositivo se mostram ser distintas, sendo que o dimensionamento otimizado é para alturas entre os 0,5 e os 2 m, com direção de ondas entre os 250° e os 285°.

O Cabo da Roca apresenta direções de onda com maior ocorrência entre os 280° e os 330°, embora as alturas das ondas voltem a situar-se entre os 1 e 3 m.

A Baía de Cascais, devido à sua localização geográfica, é um local protegido, sendo as direções de ataque praticamente constantes, entre os 240° e os 260°. Ao contrário das outras localizações já descritas apresenta maior ocorrência de ondas com alturas pequenas, sendo a grande maioria entre os 0 e 2 m.

Para a última localização, Costa da Galé, os dispositivos devem estar projetados para direções de onda entre os 260° e os 290° e para ondas com alturas até aos 2 m.

Em suma, conclui-se que os dispositivos devem ser projetados com as características de cada localização específica, embora existam localizações com características muito similares. Por outro lado, e consoante a tecnologia de conversão usada, poderá haver particularidades de construção nas estruturas, pelo que será necessário adaptar os resultados obtidos nesta dissertação às suas especificações.

Outra conclusão importante é o facto de que em cada localização se identificarem ondas com densidades de potências mais elevadas, no entanto, não se torna vantajoso o dimensionamento e a construção de um dispositivo que funcione para esses valores nominais, uma vez que essas ondas ocorrem muito menos vezes. Torna-se então mais vantajoso adotar zonas de funcionamento onde a captação de energia se torne mais eficiente, optando então por ondas de mais baixa densidade de potência, mas com ocorrência muito mais elevada.

Bibliografia

- [1] P. Mateus, *Conceção de Módulo Didático para o Ensino de Energias Renováveis*, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2012.
- [2] J. Sierra, C. Mösso e D. González-Marco, *Wave energy resource assesement in Menorca (Spain)*, *Renewable Energy*, 2013.
- [3] E. Commission, “Setis, European Comission,” 8 11 2013. [Online]. Available: <http://setis.ec.europa.eu/publications/technology-information-sheets/ocean-wave-energy-technology-information-sheet>.
- [4] A. Clément, P. McCullen, A. Falcão, A. Fiorentino, F. Gardner, K. Hammarlund, G. Lemonis, L. Tony, K. Nielsen, S. Petroncini, M. T. Pontes, P. Schild, B.-O. Sjoström, H. Sorensen e T. Thorpe, *Wave energy in Europe: current status and perspectives*, Pergamon, 2002.
- [5] B. Orazov, O. O'Reilly e Ö. Savas, “On the dynamics of a novel ocean wave energy converter,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 329, pp. 5058-5069, 2010.
- [6] A. Falcão, *Wave energy utilization: A review of the technologies*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009.
- [7] J. Lopes, “<http://paginas.fe.up.pt/~jpl/>,” Universidade do Porto, [Online]. Available: http://paginas.fe.up.pt/~jpl/textos/Feup_PLopes_Ondas.pdf. [Acedido em 01 09 2014].
- [8] C. f. R. E. S. (CRES), *Wave energy Utilization in Europe*, 2002.
- [9] Google, *Google Earth*, 2013.
- [10] J. M. B. P. Cruz e A. J. N. A. Sarmiento, *Energia das Ondas: Introdução aos aspectos tecnológicos, económicos e ambientais*, Alfragide: Instituto do Ambiente, 2004.
- [11] *Wave Energy Centre, Potential and Strategy for the Development of Wave Energy in Portugal*.
- [12] A. Falcão, A. Sarmiento, G. Luís, M. T. Pontes, P. Justino e A. Brito e Melo, “Potencial e Estratégia de desenvolvimento da energia das ondas em Portugal,” *Wave Energy Centre - Centro de Energia das Ondas*, 2004.
- [13] E. Community, “Overview of the work of the European Thematic Network on Wave Energy,” *Wavenet*, Março 2003.
- [14] R. Mendes, *Energia das Ondas, desenvolvimento de uma tecnologia de geração (Gerador Tubular)*, Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2011.
- [15] P. Godinho, *Energia das Ondas, Desenvolvimento de uma tecnologia de geração*, Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2010.
- [16] R. Dean e R. Dalrymple, *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, World Scientific Publishing, 1991.

- [17] R. Sorensen, *Basic Coastal Engineering*, Springer Science + Business, 2006.
- [18] A. Gomes, *Ondas Marinhas*, Universidade Federal Fluminense; Departamento de Biologia Marinha, 2003.
- [19] P. Relvas, “<http://w3.ualg.pt/~prelvas/>,” Algarve Centre of Marine, [Online]. Available: w3.ualg.pt/~prelvas/Oc_Costeira_Plataforma/Oc_Cost_Plat_5.ppt. [Acedido em 2 09 2014].
- [20] M. McCormick, *Ocean Engineering Mechanics*, Cambridge University Press: with applications, 2010.
- [21] N. John, *Marine Hydrodynamics*, The Massachusetts Institute of Tecnology, 1977.
- [22] I. The MathWorks, *Matlab R2013b*, Copyright 1984-2013, 2013.
- [23] L. Environmental, *WRPLOT View - Wind Rose Plots for Meteorological Data*, Version 7.0.0, (C) 1998-2011 Lakes Environmental Software, 2011.

Anexos

Tabela 1 - Tabela de dados para a localização de Caminha.

MODELO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA - MAR3G								
DESCRIÇÃO PARAMÉTRICA DO ESTADO DO MAR								
Local	Coordenadas			Profundidade	Massa Específica do Oceano			
Caminha	Lat: 41 51.3 N Lon: 8 53.3 W			h	ρ [kg/m ⁻³]			
				18	1030			
DATA	Altura H [m]	Período T [s]	Direção GRAU	Comprimento λ [m]	Nº de onda k [m ⁻¹]	Frequência ω [rad/s]	Celeridade Cg [m/s]	Densidade P. Jw [w/m]
01/07/2010	1,4	6,5	279	65,9653	0,0952	0,9666	5,0743	12561,6
08/07/2010	1,6	8,1	288	102,4375	0,0613	0,7757	6,3233	20445,6
16/07/2010	2,1	7,2	288	80,9383	0,0776	0,8727	5,6207	31307,4
24/07/2010	1,6	5,6	307	48,9627	0,1283	1,1220	4,3717	14135,2
01/08/2010	2,2	6,4	304	63,9513	0,0982	0,9817	4,9962	30542,2
08/08/2010	1,2	6,8	306	72,1950	0,0870	0,9240	5,3085	9654,9
16/08/2010	1,6	5,4	307	45,5278	0,1380	1,1636	4,2155	13630,4
24/08/2010	1,3	7,3	276	83,2022	0,0755	0,8607	5,6988	12164,2
01/09/2010	1,3	7,1	266	78,7056	0,0798	0,8850	5,5427	11831,0
08/09/2010	1,8	8,2	277	104,9825	0,0598	0,7662	6,4014	26196,0
16/09/2010	1,4	8,7	289	118,1756	0,0532	0,7222	6,7917	16813,2
24/09/2010	2,1	8,3	275	107,5586	0,0584	0,7570	6,4794	36090,4
01/10/2010	2,6	10,3	271	165,6394	0,0379	0,6100	8,0407	68653,0
08/10/2010	4,1	11,7	248	213,7277	0,0294	0,5370	9,1337	193922,8
16/10/2010	1,0	5,1	307	40,6097	0,1547	1,2320	3,9813	5028,6
24/10/2010	1,8	6,6	290	68,0107	0,0924	0,9520	5,1523	21084,5
01/11/2010	3,5	9,8	282	149,9482	0,0419	0,6411	7,6504	118368,9
08/11/2010	7,1	12,5	271	243,9547	0,0258	0,5027	9,7582	621301,1
16/11/2010	2,6	7,6	246	90,1813	0,0697	0,8267	5,9330	50656,6
24/11/2010	1,5	8,9	260	123,6714	0,0508	0,7060	6,9478	19744,6
01/12/2010	2,2	7,8	270	94,9901	0,0661	0,8055	6,0891	37223,3
08/12/2010	2,2	9,0	263	126,4661	0,0497	0,6981	7,0259	42950,0
16/12/2010	0,8	6,7	280	70,0872	0,0896	0,9378	5,2304	4228,0
24/12/2010	1,9	9,9	251	153,0240	0,0411	0,6347	7,7285	35238,5
01/01/2011	2,2	11,5	248	206,4832	0,0304	0,5464	8,9775	54880,6
08/01/2011	3,6	9,9	253	153,0240	0,0411	0,6347	7,7285	126507,3
16/01/2011	3,2	9,9	247	153,0240	0,0411	0,6347	7,7285	99956,4
24/01/2011	1,1	5,8	299	52,5225	0,1196	1,0833	4,5278	6919,7
01/02/2011	1,5	9,0	276	126,4661	0,0497	0,6981	7,0259	19966,4
08/02/2011	2,0	7,1	234	78,7056	0,0798	0,8850	5,5427	28002,3
16/02/2011	10,0	14,1	255	310,4040	0,0202	0,4456	11,0072	1390255,1
24/02/2011	1,9	9,7	260	146,9037	0,0428	0,6478	7,5724	34526,6

Tabela 2 - Tabela de dados para a localização de Esposende.

MODELO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA - MAR3G								
DESCRIÇÃO PARAMÉTRICA DO ESTADO DO MAR								
Local	Coordenadas			Profundidade		Massa Específica do Oceano		
Esposende	Lat: 41 30.0 N Lon: 8 50.0 W			h		ρ [kg/m ⁻³]		
				30		1030		
DATA	Altura H [m]	Período T [s]	Direção GRAU	Comprimento λ [m]	Nº de onda k [m ⁻¹]	Frequência ω [rad/s]	Celeridade Cg [m/s]	Densidade P. Jw [w/m]
01/07/2010	1,4	6,4	285	63,9513	0,0982	0,9817	4,9962	12368,3
08/07/2010	1,6	7,6	298	90,1813	0,0697	0,8267	5,9330	19183,5
16/07/2010	2,2	6,9	295	74,3340	0,0845	0,9106	5,3865	32928,3
24/07/2010	1,6	5,6	314	48,9627	0,1283	1,1220	4,3717	14135,2
01/08/2010	2,3	6,4	311	63,9513	0,0982	0,9817	4,9962	33381,9
08/08/2010	1,2	6,7	314	70,0872	0,0896	0,9378	5,2304	9512,9
16/08/2010	1,7	5,4	313	45,5278	0,1380	1,1636	4,2155	15387,5
24/08/2010	1,3	7,1	280	78,7056	0,0798	0,8850	5,5427	11831,0
01/09/2010	1,3	6,9	270	74,3340	0,0845	0,9106	5,3865	11497,7
08/09/2010	1,8	7,9	283	97,4414	0,0645	0,7953	6,1672	25237,6
16/09/2010	1,4	8,2	299	104,9825	0,0598	0,7662	6,4014	15846,9
24/09/2010	2,1	7,8	284	94,9901	0,0661	0,8055	6,0891	33916,3
01/10/2010	2,5	9,7	278	146,9037	0,0428	0,6478	7,5724	59776,0
08/10/2010	4,2	10,8	245	182,1112	0,0345	0,5818	8,4311	187844,2
16/10/2010	1,1	5,2	314	42,2178	0,1488	1,2083	4,0594	6203,9
24/10/2010	1,8	6,4	296	63,9513	0,0982	0,9817	4,9962	20445,6
01/11/2010	3,4	9,1	291	129,2921	0,0486	0,6905	7,1040	103722,9
08/11/2010	6,4	11,6	278	210,0899	0,0299	0,5417	9,0556	468482,4
16/11/2010	2,9	7,3	238	83,2022	0,0755	0,8607	5,6988	60533,3
24/11/2010	1,5	8,2	264	104,9825	0,0598	0,7662	6,4014	18191,6
01/12/2010	2,3	7,7	270	92,5701	0,0679	0,8160	6,0110	40162,6
08/12/2010	2,4	8,9	259	123,6714	0,0508	0,7060	6,9478	50546,1
16/12/2010	0,9	6,3	283	61,9684	0,1014	0,9973	4,9181	5031,5
24/12/2010	2	9,4	251	137,9574	0,0455	0,6684	7,3382	37073,5
01/01/2011	2,2	10,8	251	182,1112	0,0345	0,5818	8,4311	51540,0
08/01/2011	3,8	9,6	252	143,8903	0,0437	0,6545	7,4943	136682,8
16/01/2011	3,4	9,1	245	129,2921	0,0486	0,6905	7,1040	103722,9
24/01/2011	1,3	5,9	304	54,3492	0,1156	1,0649	4,6059	9831,4
01/02/2011	1,4	8,3	286	107,5586	0,0584	0,7570	6,4794	16040,2
08/02/2011	2,3	6,9	223	74,3340	0,0845	0,9106	5,3865	35989,9
16/02/2011	9,3	13,4	260	280,3488	0,0224	0,4689	10,4608	1142736,5
24/02/2011	1,8	9,2	265	132,1493	0,0475	0,6830	7,1820	29390,6
01/03/2011	1,9	7,5	302	87,8237	0,0715	0,8378	5,8549	26695,9

Tabela 3 - Tabela de dados para a localização de Aveiro.

MODELO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA - MAR3G								
DESCRIÇÃO PARAMÉTRICA DO ESTADO DO MAR								
Local	Coordenadas			Profundidade	Massa Específica do Oceano			
Aveiro	Lat: 40 38.36 N Lon: 8 46.7 W			h	ρ [kg/m ⁻³]			
				12	1030			
DATA	Altura H [m]	Período T [s]	Direção GRAU	Comprimento λ [m]	Nº de onda k [m ⁻¹]	Frequência ω [rad/s]	Celeridade Cg [m/s]	Densidade P Jw [w/m]
01/07/2010	1,5	6,5	278	65,9653	0,09525	0,9666	5,0743	14420,2
08/07/2010	1,8	8,1	288	102,4375	0,06134	0,7757	6,3233	25876,5
16/07/2010	2,3	7,1	286	78,7056	0,07983	0,8850	5,5427	37033,0
24/07/2010	1,8	5,9	310	54,3492	0,11561	1,0649	4,6059	18848,3
01/08/2010	2,5	6,6	304	68,0107	0,09239	0,9520	5,1523	40672,4
08/08/2010	1,4	7,4	307	85,4973	0,07349	0,8491	5,7768	14300,9
16/08/2010	1,9	5,7	310	50,7270	0,12386	1,1023	4,4497	20288,9
24/08/2010	1,4	7,4	275	85,4973	0,07349	0,8491	5,7768	14300,9
01/09/2010	1,3	7,2	264	80,9383	0,07763	0,8727	5,6207	11997,6
08/09/2010	1,9	8,3	272	107,5586	0,05842	0,7570	6,4794	29543,4
16/09/2010	1,6	8,7	286	118,1756	0,05317	0,7222	6,7917	21960,1
24/09/2010	2,3	8,4	275	110,1660	0,05703	0,7480	6,5575	43813,7
01/10/2010	2,7	10,3	264	165,6394	0,03793	0,6100	8,0407	74035,5
08/10/2010	4,1	12,2	245	232,3854	0,02704	0,5150	9,5240	202210,1
16/10/2010	1,2	5,7	316	50,7270	0,12386	1,1023	4,4497	8093,1
24/10/2010	1,9	6,7	287	70,0872	0,08965	0,9378	5,2304	23848,3
01/11/2010	3,9	9,9	279	153,0240	0,04106	0,6347	7,7285	148470,4
08/11/2010	7,4	12,4	264	240,0670	0,02617	0,5067	9,6801	669515,3
16/11/2010	2,5	7,9	248	97,4414	0,06448	0,7953	6,1672	48683,6
24/11/2010	1,6	8,8	261	120,9078	0,05197	0,7140	6,8698	22212,5
01/12/2010	2,3	8,0	274	99,9238	0,06288	0,7854	6,2452	41727,4
08/12/2010	2,5	9,3	270	135,0377	0,04653	0,6756	7,2601	57311,0
16/12/2010	1,0	6,9	296	74,3340	0,08453	0,9106	5,3865	6803,4
24/12/2010	2,0	10,3	256	165,6394	0,03793	0,6100	8,0407	40623,1
01/01/2011	2,3	11,9	246	221,0971	0,02842	0,5280	9,2898	62069,5
08/01/2011	3,8	10,3	251	165,6394	0,03793	0,6100	8,0407	146649,2
16/01/2011	3,2	10,4	246	168,8713	0,03721	0,6042	8,1188	105004,7
24/01/2011	1,4	7,0	314	76,5042	0,08213	0,8976	5,4646	13527,9
01/02/2011	1,6	8,8	275	120,9078	0,05197	0,7140	6,8698	22212,5
08/02/2011	1,8	7,4	239	85,4973	0,07349	0,8491	5,7768	23640,3
16/02/2011	10,5	14,3	250	319,2723	0,01968	0,4394	11,1634	1554497,5
24/02/2011	1,9	9,8	257	149,9482	0,04190	0,6411	7,6504	34882,6
01/03/2011	2,2	8,0	292	99,9238	0,06288	0,7854	6,2452	38177,8

Tabela 4 - Tabela de dados para a localização de Peniche.

MODELO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA - MAR3G								
DESCRIÇÃO PARAMÉTRICA DO ESTADO DO MAR								
Local	Coordenadas			Profundidade	Massa Específica do Oceano			
Peniche	Lat: 39 20.3 N Lon: 9 22.7 W			h	ρ [kg/m ⁻³]			
				14	1030			
DATA	Altura H [m]	Período T [s]	Direção GRAU	Comprimento λ [m]	Nº de onda k [m ⁻¹]	Frequência ω [rad/s]	Celeridade Cg [m/s]	Densidade P Jw [w/m]
01/07/2010	1,2	6,8	263	72,1950	0,0870	0,9240	5,3085	9654,9
08/07/2010	1,3	8,3	272	107,5586	0,0584	0,7570	6,4794	13830,6
16/07/2010	1,7	7,5	269	87,8237	0,0715	0,8378	5,8549	21371,5
24/07/2010	1,1	5,7	282	50,7270	0,1239	1,1023	4,4497	6800,4
01/08/2010	1,6	6,5	282	65,9653	0,0952	0,9666	5,0743	16407,0
08/08/2010	0,9	7,5	282	87,8237	0,0715	0,8378	5,8549	5989,9
16/08/2010	1,2	5,5	282	47,2296	0,1330	1,1424	4,2936	7809,1
24/08/2010	1,1	7,4	260	85,4973	0,0735	0,8491	5,7768	8828,6
01/09/2010	1,1	7,5	255	87,8237	0,0715	0,8378	5,8549	8947,9
08/09/2010	1,5	8,3	262	107,5586	0,0584	0,7570	6,4794	18413,5
16/09/2010	1,2	9,2	273	132,1493	0,0475	0,6830	7,1820	13062,5
24/09/2010	1,7	9,4	258	137,9574	0,0455	0,6684	7,3382	26785,6
01/10/2010	2,2	10,3	260	165,6394	0,0379	0,6100	8,0407	49153,9
08/10/2010	4,2	11,7	241	213,7277	0,0294	0,5370	9,1337	203497,9
16/10/2010	0,7	5,8	275	52,5225	0,1196	1,0833	4,5278	2802,2
24/10/2010	1,4	6,8	271	72,1950	0,0870	0,9240	5,3085	13141,4
01/11/2010	3	10,4	269	168,8713	0,0372	0,6042	8,1188	92289,3
08/11/2010	6	12,2	262	232,3854	0,0270	0,5150	9,5240	433049,7
16/11/2010	2,6	7,6	238	90,1813	0,0697	0,8267	5,9330	50656,6
24/11/2010	1,3	9,9	249	153,0240	0,0411	0,6347	7,7285	16496,7
01/12/2010	1,9	8,5	253	112,8046	0,0557	0,7392	6,6356	30255,3
08/12/2010	2,2	9,8	249	149,9482	0,0419	0,6411	7,6504	46767,8
16/12/2010	0,7	7,7	251	92,5701	0,0679	0,8160	6,0110	3720,2
24/12/2010	1,9	10,7	245	178,7544	0,0351	0,5872	8,3530	38086,1
01/01/2011	2,2	12,1	244	228,5914	0,0275	0,5193	9,4459	57743,9
08/01/2011	3,6	10,4	245	168,8713	0,0372	0,6042	8,1188	132896,6
16/01/2011	3,2	10,1	242	159,2692	0,0395	0,6221	7,8846	101975,7
24/01/2011	1	7,4	267	85,4973	0,0735	0,8491	5,7768	7296,4
01/02/2011	1,2	9,8	261	149,9482	0,0419	0,6411	7,6504	13914,4
08/02/2011	2	7,1	229	78,7056	0,0798	0,8850	5,5427	28002,3
24/02/2011	1,7	10,6	250	175,4288	0,0358	0,5928	8,2749	30205,0
01/03/2011	1,5	8,8	271	120,9078	0,0520	0,7140	6,8698	19522,7

Tabela 5 - Tabela de dados para a localização de Cabo da Roca.

MODELO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA - MAR3G								
DESCRIÇÃO PARAMÉTRICA DO ESTADO DO MAR								
Local	Coordenadas			Profundidade		Massa Específica do Oceano		
Cabo da Roca	Lat: 38 46.8 N Lon: 9 31.0 W			h		ρ [kg/m ³]		
				40		1030		
DATA	Altura H [m]	Período T [s]	Direção GRAU	Comprimento λ [m]	Nº de onda k [m ⁻¹]	Frequência ω [rad/s]	Celeridade Cg [m/s]	Densidade P Jw [w/m]
01/07/2010	1,8	5,5	310	47,2296	0,1330	1,1424	4,2936	17570,5
08/07/2010	1,9	7,1	314	78,7056	0,0798	0,8850	5,5427	25272,1
16/07/2010	2,6	6,6	309	68,0107	0,0924	0,9520	5,1523	43991,2
24/07/2010	2,0	6,0	323	56,2072	0,1118	1,0472	4,6839	23663,9
01/08/2010	2,1	6,1	326	58,0963	0,1082	1,0300	4,7620	26524,3
08/08/2010	1,4	7,2	328	80,9383	0,0776	0,8727	5,6207	13914,4
16/08/2010	1,6	6,5	325	65,9653	0,0952	0,9666	5,0743	16407,0
24/08/2010	1,6	6,2	303	60,0168	0,1047	1,0134	4,8401	15649,7
01/09/2010	1,6	6,2	283	60,0168	0,1047	1,0134	4,8401	15649,7
08/09/2010	2,2	7,1	297	78,7056	0,0798	0,8850	5,5427	33882,8
16/09/2010	1,6	7,8	311	94,9901	0,0661	0,8055	6,0891	19688,4
24/09/2010	2,2	7,2	298	80,9383	0,0776	0,8727	5,6207	34360,0
01/10/2010	2,4	9,0	295	126,4661	0,0497	0,6981	7,0259	51114,1
08/10/2010	4,4	10,4	249	168,8713	0,0372	0,6042	8,1188	198524,5
16/10/2010	1,1	6,6	321	68,0107	0,0924	0,9520	5,1523	7874,2
24/10/2010	2,1	6,0	321	56,2072	0,1118	1,0472	4,6839	26089,5
01/11/2010	4,1	9,5	305	140,9082	0,0446	0,6614	7,4162	157458,7
08/11/2010	5,3	10,3	294	165,6394	0,0379	0,6100	8,0407	285275,4
16/11/2010	2,1	8,8	293	120,9078	0,0520	0,7140	6,8698	38264,6
24/11/2010	1,7	7,5	275	87,8237	0,0715	0,8378	5,8549	21371,5
01/12/2010	3,3	8,3	273	107,5586	0,0584	0,7570	6,4794	89121,3
08/12/2010	2,8	9,3	261	135,0377	0,0465	0,6756	7,2601	71891,0
16/12/2010	1,2	6,4	306	63,9513	0,0982	0,9817	4,9962	9086,9
24/12/2010	2,3	8,9	270	123,6714	0,0508	0,7060	6,9478	46421,7
01/01/2011	2,7	9,6	260	143,8903	0,0437	0,6545	7,4943	69004,0
08/01/2011	4,3	9,6	258	143,8903	0,0437	0,6545	7,4943	175018,3
16/01/2011	2,6	10,4	265	168,8713	0,0372	0,6042	8,1188	69319,5
24/01/2011	1,7	6,1	252	58,0963	0,1082	1,0300	4,7620	17382,1
01/02/2011	1,6	7,4	311	85,4973	0,0735	0,8491	5,7768	18678,7
08/02/2011	2,1	6,9	239	74,3340	0,0845	0,9106	5,3865	30002,9
16/02/2011	9,3	13,1	274	267,9364	0,0235	0,4796	10,2266	1117152,8
24/02/2011	1,8	9,1	279	129,2921	0,0486	0,6905	7,1040	29071,1
01/03/2011	2,3	7,5	319	87,8237	0,0715	0,8378	5,8549	39119,4

Tabela 6 - Tabela de dados para a localização de Baía de Cascais.

MODELO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA - MAR3G								
DESCRIÇÃO PARAMÉTRICA DO ESTADO DO MAR								
Local	Coordenadas			Profundidade	Massa Específica do Oceano			
Baía de Cascais	Lat: 38 41.1 N Lon: 9 24.9 W			h	ρ [kg/m ³]			
				11	1030			
DATA	Altura H [m]	Período T [s]	Direção GRAU	Comprimento λ [m]	Nº de onda k [m ⁻¹]	Frequência ω [rad/s]	Celeridade Cg [m/s]	Densidade P Jw [w/m]
01/07/2010	0,9	5,6	256	48,9627	0,1283	1,1220	4,3717	4472,5
08/07/2010	1,0	6,8	251	72,1950	0,0870	0,9240	5,3085	6704,8
16/07/2010	1,3	6,3	259	61,9684	0,1014	0,9973	4,9181	10497,9
24/07/2010	0,9	5,1	254	40,6097	0,1547	1,2320	3,9813	4073,2
01/08/2010	0,8	5,0	258	39,0327	0,1610	1,2566	3,9033	3155,2
08/08/2010	0,8	6,7	180	70,0872	0,0896	0,9378	5,2304	4228,0
16/08/2010	0,7	5,2	256	42,2178	0,1488	1,2083	4,0594	2512,3
24/08/2010	0,9	6,4	257	63,9513	0,0982	0,9817	4,9962	5111,4
01/09/2010	1,2	6,9	247	74,3340	0,0845	0,9106	5,3865	9796,9
08/09/2010	1,3	7,6	256	90,1813	0,0697	0,8267	5,9330	12664,1
16/09/2010	0,8	7,7	256	92,5701	0,0679	0,8160	6,0110	4859,0
24/09/2010	1,3	9,3	253	135,0377	0,0465	0,6756	7,2601	15496,9
01/10/2010	1,4	9,8	261	149,9482	0,0419	0,6411	7,6504	18939,0
08/10/2010	4,9	10,4	228	168,8713	0,0372	0,6042	8,1188	246207,3
16/10/2010	0,6	6,7	232	70,0872	0,0896	0,9378	5,2304	2378,2
24/10/2010	0,8	5,5	262	47,2296	0,1330	1,1424	4,2936	3470,7
01/11/2010	2,4	10,0	258	156,1310	0,0402	0,6283	7,8065	56793,4
08/11/2010	3,5	10,5	258	172,1344	0,0365	0,5984	8,1969	126823,8
16/11/2010	1,5	8,2	250	104,9825	0,0598	0,7662	6,4014	18191,6
24/11/2010	1,3	8,8	242	120,9078	0,0520	0,7140	6,8698	14663,7
01/12/2010	2,8	8,9	240	123,6714	0,0508	0,7060	6,9478	68798,9
08/12/2010	2,8	10,1	227	159,2692	0,0395	0,6221	7,8846	78075,1
16/12/2010	1,0	7,0	196	76,5042	0,0821	0,8976	5,4646	6902,0
24/12/2010	2,1	10,1	239	159,2692	0,0395	0,6221	7,8846	43917,3
01/01/2011	2,6	11,3	246	199,3637	0,0315	0,5560	8,8214	75318,3
08/01/2011	4,4	10,2	237	162,4387	0,0387	0,6160	7,9627	194706,7
16/01/2011	2,5	11,0	248	188,9185	0,0333	0,5712	8,5872	67787,3
24/01/2011	1,8	6,9	169	74,3340	0,0845	0,9106	5,3865	22042,9
01/02/2011	0,8	9,0	256	126,4661	0,0497	0,6981	7,0259	5679,3
08/02/2011	2,1	6,9	222	74,3340	0,0845	0,9106	5,3865	30002,9
16/02/2011	8,2	13,5	250	284,5487	0,0221	0,4654	10,5388	895028,5
24/02/2011	1,4	11,4	251	202,9078	0,0310	0,5512	8,8995	22031,1
01/03/2011	1,0	8,5	260	112,8046	0,0557	0,7392	6,6356	8381,0

Tabela 7 - Tabela de dados para a localização de Costa da Galé.

MODELO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA - MAR3G								
DESCRIÇÃO PARAMÉTRICA DO ESTADO DO MAR								
Local	Coordenadas			Profundidade	Massa Específica do Oceano			
Costa da Galé	Lat: 38 15.4 N Lon: 8 47.7 W			h	ρ [kg/m ⁻³]			
				20	1030			
DATA	Altura H [m]	Período T [s]	Direção GRAU	Comprimento λ [m]	Nº de onda k [m ⁻¹]	Frequência ω [rad/s]	Celeridade Cg [m/s]	Densidade P Jw [w/m]
01/07/2010	1,3	5,2	283	42,2178	0,1488	1,2083	4,0594	8664,9
08/07/2010	1,2	5,7	281	50,7270	0,1239	1,1023	4,4497	8093,1
16/07/2010	1,8	5,8	279	52,5225	0,1196	1,0833	4,5278	18528,8
24/07/2010	1,3	5,0	291	39,0327	0,1610	1,2566	3,9033	8331,7
01/08/2010	1,2	5,0	295	39,0327	0,1610	1,2566	3,9033	7099,2
08/08/2010	0,7	5,8	293	52,5225	0,1196	1,0833	4,5278	2802,2
16/08/2010	0,9	5,2	289	42,2178	0,1488	1,2083	4,0594	4153,0
24/08/2010	1,1	5,8	275	52,5225	0,1196	1,0833	4,5278	6919,7
01/09/2010	1,3	6,2	266	60,0168	0,1047	1,0134	4,8401	10331,3
08/09/2010	1,6	6,7	269	70,0872	0,0896	0,9378	5,2304	16911,8
16/09/2010	0,9	6,1	278	58,0963	0,1082	1,0300	4,7620	4871,8
24/09/2010	1,6	7,4	266	85,4973	0,0735	0,8491	5,7768	18678,7
01/10/2010	1,6	8,2	269	104,9825	0,0598	0,7662	6,4014	20698,0
08/10/2010	3,6	10,2	244	162,4387	0,0387	0,6160	7,9627	130340,9
16/10/2010	0,7	6,0	266	56,2072	0,1118	1,0472	4,6839	2898,8
24/10/2010	1,3	5,2	292	42,2178	0,1488	1,2083	4,0594	8664,9
01/11/2010	2,4	8,1	270	102,4375	0,0613	0,7757	6,3233	46002,7
08/11/2010	3,4	8,6	264	115,4745	0,0544	0,7306	6,7136	98023,8
16/11/2010	1,4	7,5	260	87,8237	0,0715	0,8378	5,8549	14494,1
24/11/2010	1,3	8,0	254	99,9238	0,0629	0,7854	6,2452	13330,7
01/12/2010	2,6	8,2	254	104,9825	0,0598	0,7662	6,4014	54655,8
08/12/2010	2,1	9,4	243	137,9574	0,0455	0,6684	7,3382	40873,5
16/12/2010	0,7	6,0	253	56,2072	0,1118	1,0472	4,6839	2898,8
24/12/2010	1,8	9,5	247	140,9082	0,0446	0,6614	7,4162	30349,0
01/01/2011	2,4	10,7	250	178,7544	0,0351	0,5872	8,3530	60768,9
08/01/2011	3,6	9,8	248	149,9482	0,0419	0,6411	7,6504	125229,4
16/01/2011	2,3	10,8	251	182,1112	0,0345	0,5818	8,4311	56332,0
24/01/2011	1,1	5,2	223	42,2178	0,1488	1,2083	4,0594	6203,9
01/02/2011	1,0	7,3	273	83,2022	0,0755	0,8607	5,6988	7197,8
08/02/2011	1,7	6,8	239	72,1950	0,0870	0,9240	5,3085	19376,8
16/02/2011	7,1	13,0	251	263,8614	0,0238	0,4833	10,1485	646153,1
24/02/2011	1,4	10,3	256	165,6394	0,0379	0,6100	8,0407	19905,3
01/03/2011	1,3	6,6	282	68,0107	0,0924	0,9520	5,1523	10997,8