

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



IMPACTO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NAS
JANELAS DE OPORTUNIDADE PARA OPERAÇÃO DE
PARQUES EÓLICOS *OFFSHORE* EM PORTUGAL

Nuno Alexandre Rocha da Silva

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

2011

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



IMPACTO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NAS JANELAS DE OPORTUNIDADE PARA OPERAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS *OFFSHORE* EM PORTUGAL

Nuno Alexandre Rocha da Silva

Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Trabalho realizado sob a supervisão de

Professora Doutora Ana Estanqueiro (FCUL/LNEG)

2011

Abstract

In recent years there has been a growing awareness and environmental education. In fact, it has increased the concern by society in issues related to the environment, particularly climate change. Evidence of that was the Kyoto Protocol (1997) or more recently the Copenhagen Summit (2009). Thus, the production of energy from renewable sources has significantly grown in recent years, with particular emphasis in most developed countries, with the wind energy featuring the more expressive increase. Currently, one of the major issues in terms of wind energy production is the development of *offshore* wind farms. However, several obstacles and challenges are presented in the construction and development of these wind farms. An important matter is related with the difficulties in access to the wind parks. The construction and maintenance operations must be conducted in good weather conditions: depend on the wind speed, swell of the sea and visibility. So it's possible that a wind park may not to be accessible by boat or helicopter during a certain period of time due to adverse weather conditions. Thus, this work has as objective to characterize the behavior of wind and swell in the west coast of Portugal, in order to make possible the identification of return periods, extreme winds and window of opportunity that allow the construction and maintenance works of *offshore* wind farms located at this region.

Resumo

Nos últimos anos tem-se assistido a uma crescente consciencialização e educação ambiental. De facto é cada vez maior a preocupação por parte da sociedade com questões relacionadas com o ambiente, particularmente com as alterações climáticas. Prova disso mesmo foram o Protocolo de Quioto (1997) ou mais recentemente a Cimeira de Copenhaga (2009). Desta forma, a aposta em produção de energia a partir de fontes renováveis tem ganho cada vez mais adeptos e tem crescido nos últimos anos de forma significativa, com especial destaque nos países mais desenvolvidos, sendo a energia eólica aquela que apresenta um aumento mais expressivo. Actualmente, uma das grandes apostas a nível de produção de energia eólica é o desenvolvimento de parques eólicos *offshore*. No entanto, são vários os obstáculos e os desafios apresentados na construção e desenvolvimento deste tipo de parques eólicos. Uma das principais questões está relacionada com as dificuldades no acesso aos parques. A construção e operações de manutenção têm que ser realizadas em condições meteorológicas favoráveis, sendo possível que um parque eólico esteja inacessível por barco ou helicóptero durante um determinado período de tempo, devido às condições atmosféricas adversas. O impacto negativo que a indisponibilidade das turbinas têm no desempenho energético de um parque eólico *offshore*, constituiu a motivação para a realização de estudos sobre as condições meteorológicas locais na fase de projecto de viabilidade dos parques eólicos *offshore*. Desta forma, este trabalho tem como objectivo a caracterização do comportamento do vento e da ondulação na costa ocidental portuguesa, de forma a tornar possível a identificação de períodos de retorno, ventos extremos e janelas de oportunidade que permitam a realização de trabalhos de construção e manutenção dos parques eólicos *offshore* localizados nesta região.

Palavras-chave: Acessibilidade, Janelas de Oportunidade, Ventos Extremos, Período de Retorno, Parque Eólico *Offshore*.

Keywords: Accessibility, Windows of Opportunity, Extreme Winds, Return Period, *Offshore* Wind farm.

Índices

<i>Abstract</i>	3
<i>Resumo</i>	3
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Situação Actual da Energia Eólica	1
1.2 Objectivos.....	4
1.3 Estrutura do Trabalho.....	4
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1 Disponibilidade e Acessibilidade aos Parques Eólicos <i>Offshore</i>	5
2.2 Tempo de Reparação	8
2.3 Principais Causas de Inacessibilidade aos Parques Eólicos <i>Offshore</i>	8
3. METODOLOGIA	9
3.1 Localização dos Zonas de Estudo.....	9
3.2 Dados das Zonas de Estudo.....	10
3.3 Fundamentos Teóricos	11
3.3.1 Ventos Extremos e Período de Retorno.....	12
3.3.2 Janelas de Oportunidade.....	13
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	17
4.1 Caracterização do Escoamento Atmosférico e do Estado do Mar.....	17
4.1.1 Zona 1.....	17
4.1.2 Zona 2.....	23
4.1.3 Zona 3.....	29
4.2 Fenómenos Extremos	35
4.2.1 Zona 1.....	35
4.2.2 Zona 2.....	37
4.2.3 Zona 3.....	39
4.3 Janelas de Oportunidade.....	41
4.3.1 Zona 1.....	41

4.3.2	Zona 2.....	46
4.3.3	Zona 3.....	50
5.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	55
5.1	Caracterização do Escoamento Atmosférico e do Estado do Mar.....	55
5.2	Fenómenos Extremos	56
5.3	Janelas de oportunidade.....	57
6.	CONCLUSÃO	59
7.	REFERÊNCIAS	60
	ANEXO.....	62
	ZONA 1.....	63
	ZONA 2.....	64
	ZONA 3.....	65

Agradecimentos

A presente dissertação não poderia estar completa sem os meus mais sinceros agradecimentos a pessoas e instituições que contribuíram decisivamente para a sua realização. Assim gostaria de agradecer:

Ao LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Ambiente, em particular à UESEO – Unidade de Energia Solar, Eólica e dos Oceanos, pelas condições disponibilizadas para a realização deste trabalho.

À Professora Doutora Ana Estanqueiro, pela orientação, por todas as críticas e sugestões que muito valorizaram este trabalho e pela oportunidade que me deu em poder trabalhar neste tema.

Ao Doutor Jesper Thiesen da empresa dinamarquesa ConWx ApS, pela cedência dos dados que serviram de base à realização deste estudo.

À Professora Doutora Teresa Pontes, pela simpatia, disponibilidade e preciosa ajuda que muito enriqueceu este trabalho.

À Liliana Madeira pela importante ajuda, não só na elaboração desta dissertação, mas ao longo de todo o Mestrado, pois sem a sua presença tudo teria sido mais complicado e menos divertido.

Gostaria ainda de agradecer aos meus colegas do LNEG, nomeadamente ao António Couto, Luís Rodrigues, Miguel Fernandes, Paulo Costa, Raquel Marujo e à Teresa Simões, pelo bom ambiente de trabalho e por toda a ajuda que me deram ao longo do processo de realização deste trabalho. Um agradecimento especial à Erica Torres por todo o apoio “psicológico”.

Agradeço ainda ao meu irmão por ter partilhado longas noites comigo enquanto cada um escrevia a sua tese.

Por fim, agradeço à minha família e amigos, especialmente ao Jorge Batista, que de uma maneira ou de outra, directa ou indirectamente, contribuíram para que conseguisse realizar esta dissertação.

1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos da civilização que o Homem procura formas de produção de energia que lhe possibilitem uma melhor qualidade de vida e que respondam aos novos desafios criados pela sua própria evolução.

São muitas as fontes de energia hoje conhecidas, desde as energias fósseis, como o gás natural ou o petróleo, até às renováveis, como por exemplo a energia eólica ou a hídrica. No entanto, foi longa a caminhada percorrida pelo Homem desde a descoberta do fogo até às grandes centrais energéticas hoje espalhadas um pouco por todo o mundo. O desenvolvimento económico e tecnológico tem levado a um aumento da necessidade de produção de energia, por conseguinte, acompanhando a evolução da humanidade, existe uma crescente necessidade de procura de novas fontes de energia.

Actualmente, são as energias de origem fóssil, nomeadamente o petróleo, o gás natural e o carvão, aquelas que representam a maior fatia no consumo energético a nível mundial, representando 81.4% da oferta de energia primária. [IEA, 2010].

No entanto, tem-se verificado, sobretudo nos últimos anos, com especial destaque nos países mais desenvolvidos, um crescimento acentuado de produção de energia a partir de fontes renováveis. O gráfico representado na figura 1 ilustra a nova capacidade instalada em cada ano na União Europeia [EWEA, 2010]. Este aumento na aposta da exploração dos recursos renováveis deve-se, em grande parte, a uma maior consciencialização e educação ambiental.

É cada vez maior a preocupação por parte da sociedade com questões relacionadas com o ambiente, particularmente com as alterações climáticas. Prova disso foram o Protocolo de Quioto (1997), ou mais recentemente a Cimeira de Copenhaga (2009). É ainda de referir a estratégia dos 20-20-20 estabelecida pelo Conselho Europeu, que determina uma redução dos gases com efeito de estufa de 20% até 2020, uma meta vinculativa de 20% para as energias renováveis em 2020 e ainda uma diminuição de 20% de consumo de energia em 2020, de acordo com o plano de acção de eficiência energética [Commission of the European Communities, 2007].

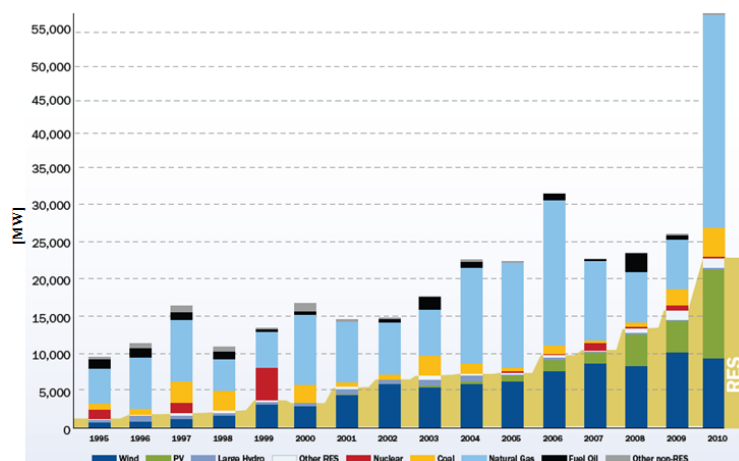


Figura 1 – Nova capacidade de diferentes fontes de energia instalada na União Europeia em cada ano [fonte: EWEA, 2010].

1.1 Situação Actual da Energia Eólica

Têm-se verificado um aumento significativo da exploração de recursos renováveis, sendo a energia eólica uma das grandes responsáveis por esse incremento [EWEA, 2010]. De facto, a capacidade de energia eólica instalada anualmente tem sofrido um acentuado aumento, nomeadamente na União Europeia (figura 2).

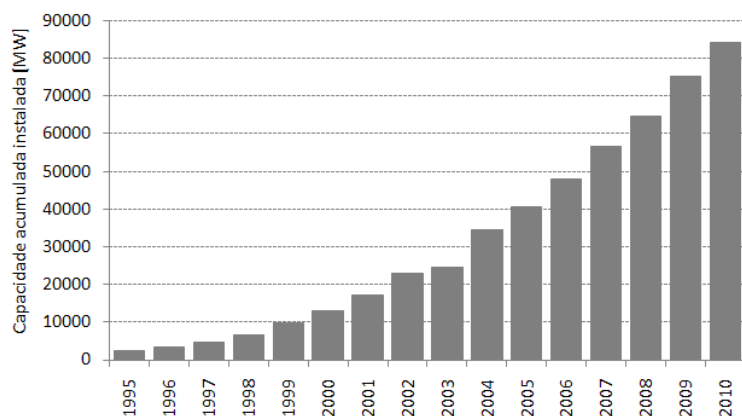


Figura 2 – Capacidade acumulada instalada de energia eólica *onshore* na União Europeia [adaptado de EWEA, 2010].

Não obstante o crescimento da implementação de novos parques eólicos *onshore*, actualmente uma das grandes apostas a nível de produção de energia eólica é o desenvolvimento de parques eólicos *offshore*, isto é, parques eólicos construídos no mar.

Até 31 de Dezembro de 2010 existiam na União Europeia 45 parques eólicos *offshore* (com um total de 1136 aerogeradores), distribuídos por 9 países (Reino Unido, Dinamarca, Suécia, Holanda, Alemanha, Bélgica, Irlanda, Finlândia e Noruega), perfazendo um total de 2946 MW de potência instalada. O gráfico apresentado na figura 3 representa a capacidade instalada em parques eólicos *offshore* (anual e acumulada) no período entre 2000 e 2010 e na figura 4 é apresentada a estimativa de crescimento de implementação de parques eólicos *offshore* até 2030 na União Europeia.

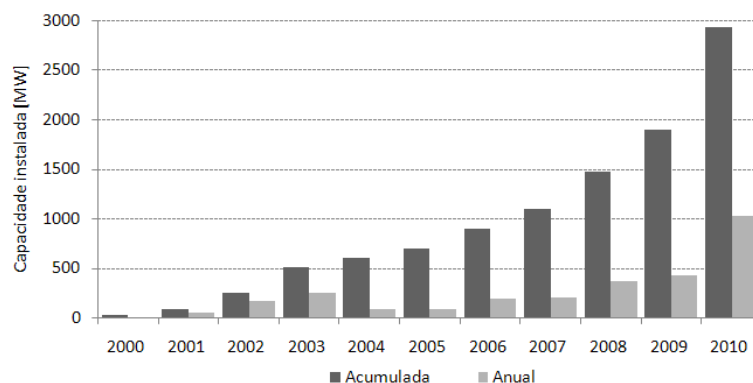


Figura 3 – Capacidade acumulada e anual instalada de energia eólica *offshore* na União Europeia durante o período compreendido entre 2000 e 2010 [adaptado de EWEA, 2010].

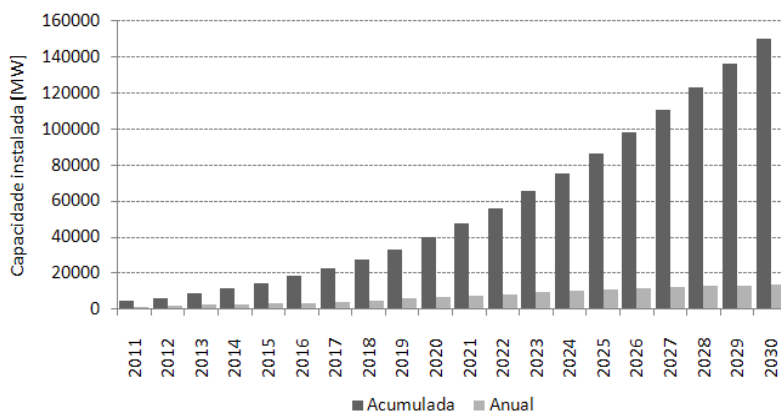


Figura 4 – Capacidade acumulada e anual de energia eólica *offshore* na União Europeia a instalar durante o período compreendido entre 2011 e 2030 [adaptado de EWEA, 2010].

São várias as vantagens do desenvolvimento deste tipo de parques eólicos. Desde a construção dos primeiros parques eólicos em terra que se levantaram vozes críticas contra a poluição sonora e visual causada pelos aerogeradores. Dessa forma, o desenvolvimento de parques eólicos em meio marinho apresenta-se como uma solução para a diminuição desse tipo de poluição.

No mar, a baixa rugosidade da superfície e a ausência de obstáculos tornam o vento na camada limite atmosférica mais intenso, regular e menos turbulento, diminuindo, desta forma, as variações e flutuações deste recurso. Uma outra vantagem dos parques eólicos *offshore* está relacionada com o espaço disponível para o aproveitamento do recurso eólico. Para países com elevada densidade populacional e pouco espaço disponível em terra, esta questão torna-se especialmente importante e os aproveitamentos eólicos *offshore* surgem como uma resposta em termos energéticos.

A produção de energia em parques eólicos *offshore* é superior quando comparada com aquela que é produzida em terra, não só devido à mais elevada velocidade média do vento no mar mas também porque as restrições neste meio são menores, permitindo desta forma o desenvolvimento de parques constituídos por turbinas com maior diâmetro e com uma maior potência. A diferença de energia produzida por um parque eólico *offshore* face um localizado em terra, com as mesmas características, corresponde a um aumento de produção de energia que pode variar entre os 20 e 40% [Milborrow, 2003].

Devido às suas vantagens, o desenvolvimento de parques eólicos *offshore* estão em franco crescimento, particularmente no Mar do Norte, onde o recurso é maior (figura 5). No entanto, o crescimento de novos parques eólicos não se limita a essa zona da Europa. O recurso eólico *offshore* é abundante na Europa, incluindo Portugal, conforme se pode verificar na figura 5.

O potencial eólico *offshore* em Portugal é moderado para águas pouco profundas (batimétrica < 60 m) e elevado para águas profundas (60 m < batimétrica < 200 m). Na zona norte de Portugal (da costa de Viana do Castelo ao Porto) o potencial estimado é de 500 MW a 40 metros de profundidade, na zona centro, entre Peniche e Cascais, esse potencial pode chegar aos 700 MW, a zona da Figueira da Foz pode representar 100 MW e a zona de Lisboa 1000 MW [Costa et al, 2006].

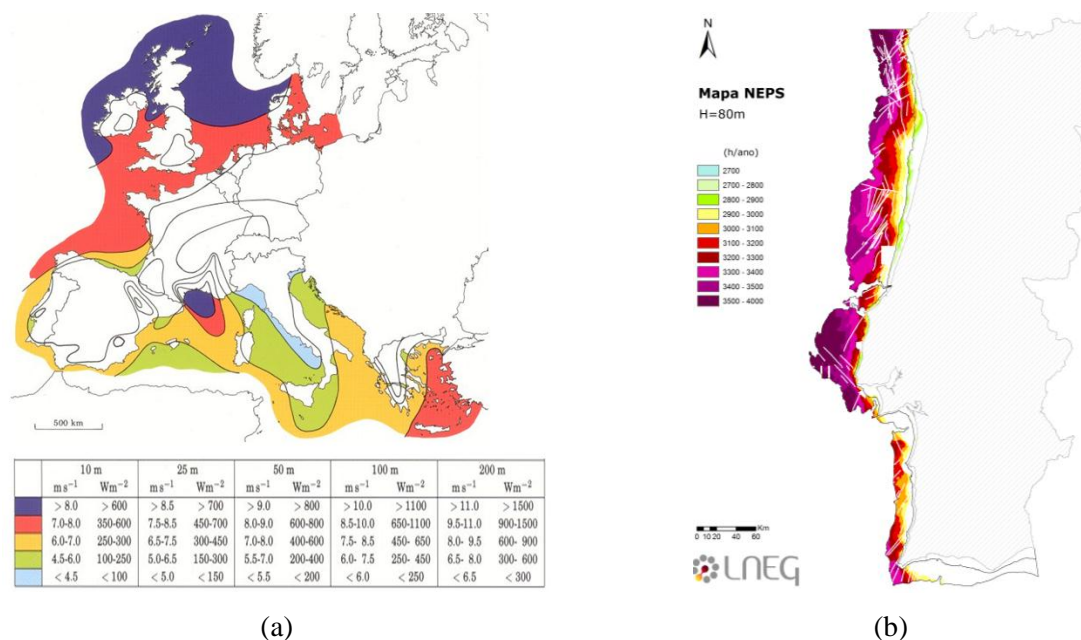


Figura 5 – Potencial eólico *offshore* (a) na Europa [fonte: www.windatlas.dk/Europe/oceanmap] e (b) na costa ocidental Portuguesa [adaptado de: Paulo et al, 2006].

A plataforma continental portuguesa caracteriza-se por um declive suave até aos 200 metros de profundidade e não afunda rapidamente (com declives <8%) [Costa et al, 2010]. Neste sentido, na figura 6 é possível verificar as áreas disponíveis com profundidade médias e baixas (inferiores a 60 metros) e as áreas de águas profundas. Para as áreas de águas profundas será necessário recorrer à tecnologia flutuante para o aproveitamento eólico *offshore* de águas profundas.

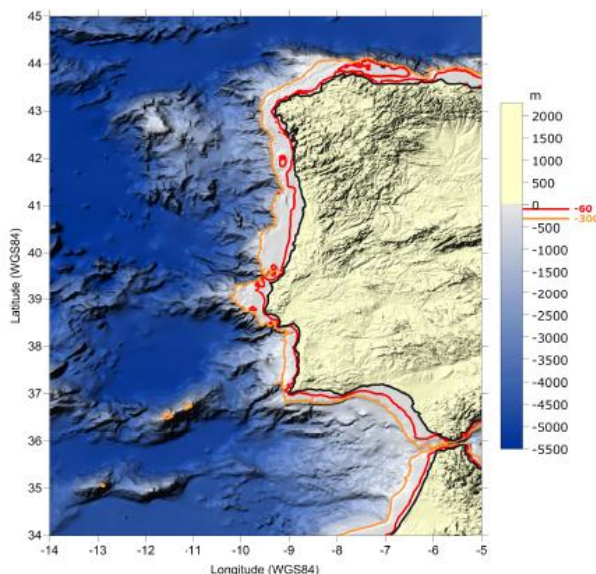


Figura 6 – Representação das linhas de batimetria dos 60 e 300 metros [Costa et al, 2010].

No entanto, são vários os obstáculos e as dificuldades apresentados na construção e desenvolvimento de parques eólicos *offshore*. Devido ao facto de o parque estar localizado num ambiente adverso, a instalação é mais difícil e mais cara, os custos de implementação destes parques podem ser entre 30 a 50% superiores aos parques eólicos construídos em terra [Villalobos, 2003]. Também os custos de operação e manutenção desempenham um papel relevante, apresentando custos muito mais elevados quando comparados com os parques eólicos *onshore*. Desta forma, para que exista rentabilidade e competitividade, os custos da electricidade produzida em parques eólicos localizados no mar poderá representar um incremento até 30% dos custos de 1 kWh face ao produzido em parques *onshore* [Bussel e Schöntag, 1997].

Outra questão de suprema importância para o desenvolvimento de parques eólicos *offshore* está relacionada com a limitação no acesso aos parques imposta pelo meio marinho. A construção e operações de manutenção têm que ser realizadas em condições meteorológicas favoráveis. Assim, é possível que o parque eólico esteja inacessível por barco ou helicóptero durante um determinado período de tempo devido a condições climáticas adversas (vento e ondas) [Bussel e Schöntag, 1997].

1.2 Objectivos

Face ao exposto, torna-se perceptível a necessidade da realização de estudos sobre as condições meteorológicas locais para a construção e manutenção de parques eólicos *offshore*. Desta forma, este trabalho tem como objectivo a caracterização do comportamento do vento e da ondulação na costa ocidental portuguesa, de forma a tornar possível a identificação de ventos extremos, períodos de retorno e janelas de oportunidade que permitam a realização de trabalhos de construção e manutenção em parques localizados nestas zonas.

1.3 Estrutura do Trabalho

No capítulo 2 far-se-á uma descrição da problemática referente às condições de acesso aos parques eólicos *offshore* devido às condições meteorológicas adversas. Serão ainda apresentados alguns estudos relevantes para este trabalho. O capítulo 3 será dedicado à metodologia desenvolvida na elaboração deste trabalho, bem como à descrição dos locais onde se situam os três casos que aqui serão estudados. Nos capítulos 4 e 5 serão apresentados os resultados obtidos e a sua discussão, terminando com o capítulo 6, onde serão expostas as conclusões finais da dissertação.

2. ESTADO DA ARTE

A transição da construção de parques eólicos em terra para o meio marinho não implica apenas uma operação mais difícil e mais cara, mas também um grande impacto sobre a acessibilidade ao parque [Bussel e Zaaier, 2001].

Devido a factores meteorológicas, nomeadamente: velocidade do vento, ondulação do mar e visibilidade, os parques eólicos *offshore* poderão ficar inacessíveis durante períodos de tempo, que poderão variar entre alguns dias até alguns meses (especialmente durante os meses de inverno no Mar do Norte) [Bussel e Henderson, 2001]. Desta forma, a acessibilidade ao parque, quer para a sua construção quer para a sua manutenção e reparação de eventuais avarias, é uma grande preocupação e poderá ser responsável por uma baixa rentabilidade do parque, uma vez que devido à inacessibilidade ao mesmo a reparação de avarias nos aerogeradores poderá ser comprometida e a edificação do parque mais morosa (uma vez que as condições climáticas poderão impedir uma resposta rápida e eficaz).

Mesmo quando as condições meteorológicas são favoráveis, as operações de edificação e manutenção de parques eólicos são sempre mais complexas e caras do que no caso *onshore*, sendo fortemente dependentes do tamanho do parque eólico, da exposição do local e ainda da sua distância à costa e ao porto [Bussel e Henderson, 2001].

Assim, é fundamental conhecer as janelas de oportunidade expectáveis que permitam o acesso aos equipamentos para a realização da construção e manutenção do parque eólico de forma a rentabilizar esses trabalhos.

2.1 Disponibilidade e Acessibilidade aos Parques Eólicos *Offshore*

A disponibilidade de um parque eólico, definida como a percentagem de tempo em que existem condições técnicas para a produção de energia eléctrica, é função da confiabilidade, manutenção (facilidade de reparação) e da operacionalidade (facilidade do serviço) do hardware e software utilizado em todo o sistema [Bussel e Zaaier, 2001]. No entanto, para parques eólicos *offshore* a acessibilidade ao parque e as estratégias de manutenção representam dois parâmetros muito importantes na disponibilidade dos mesmos, tal como é apresentado no esquema representado na figura 7.

Para uma melhor compreensão do diagrama da figura 7 é desejável primeiro clarificar os termos que aparecem enunciados nesta na figura.

- **Confiabilidade** de um sistema é a probabilidade de o sistema desempenhar as suas funções. Esta probabilidade é normalmente expressa em percentagem de tempo. Para uma turbina eólica indica a percentagem de tempo em que esta está a produzir energia de acordo com a sua curva de potência nominal e demais especificações.
- **Disponibilidade** é a probabilidade do sistema estar a operar de forma satisfatória. A principal diferença entre a confiabilidade e a disponibilidade são as estratégias de operação e manutenção do sistema, ou seja, um sistema pode ter um alto nível de confiabilidade (a frequência de falhas é muito baixa) mas quando não existe manutenção e/ou reparação após a ocorrência de uma falha, a sua disponibilidade poderá tornar-se muito baixa.
- **Manutenção** é normalmente expressa em termos de horas necessárias para completar uma acção de reparação.
- **Operacionalidade** da manutenção corresponde à facilidade da execução do serviço.
- **Estratégias de manutenção** correspondem ao plano definido para realização de operações de manutenção.
- **Acessibilidade** é a percentagem de tempo que um parque *offshore* pode ser acedido (dependendo também do meio de acesso utilizado) e este depende essencial das condições atmosféricas, nomeadamente do vento, da visibilidade e do estado do mar. [Bussel e Zaaier, 2001].

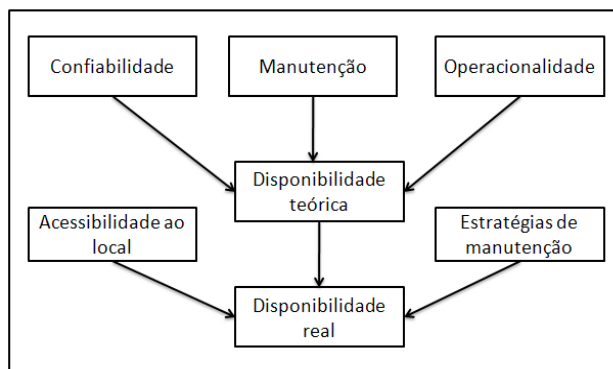


Figura 7 – Disponibilidade como função das propriedades do aerogerador, das estratégias de manutenção e da acessibilidade aos parques eólicos offshore [adaptado de Bussel e Bierbooms, 2003].

Foi realizado um estudo pela VESTAS, onde se pretendeu comparar a disponibilidade entre um parque *offshore* (Tuno Knob) e outro localizado em terra (Fjaldene), ambos na Dinamarca e com características semelhantes. Verificou-se uma disponibilidade de 99.3% para o caso do parque eólico de Fjaldene e de 97.0% para o parque eólico *offshore* de Tuno Knob. Deve-se no entanto salientar que, a elevada disponibilidade do parque *onshore* poderá dever-se à sua localização próxima do Departamento de Serviço Central da VESTAS e a disponibilidade do parque de Tuno Knob é mais elevada do que a maior parte dos casos de parques eólicos *offshore*, visto estar relativamente próximo da costa [Pedersen, 1998].

Segundo um relatório da empresa Garrad Hassan [Abril, 2001], são realizadas todos os anos entre 35 a 70 visitas de manutenção por ano ao parque eólico *offshore* Tuno Knob, o que representa cerca de 5 visitas no decorrer de cada ano a cada turbina do parque. Este parque é constituído por 10 aerogeradores de modelo VESTAS V39 de 500 kW, com o eixo do rotor a 40.5 m de altura e está localizado a cerca de 6 km da costa [Tuno Knob – Case study, 2001]. O estudo indica ainda que são canceladas todos os anos, devido a condições meteorológicas adversas, cerca de 15% das visitas programadas. Assim, verifica-se a elevada relevância da questão da acessibilidade ao parque para operações de reparação e manutenção para que este apresente uma alta disponibilidade.

As operações de reparação e manutenção realizadas em parques eólicos poderão ser de dois tipos: manutenção correctiva e/ou preventiva. A figura 8 representa graficamente as várias operações de manutenção realizadas num parque eólico durante o seu período de vida. Como se observa, é possível dividir o período de vida do parque em duas fases, em termos de manutenção. A primeira fase abrange os primeiros cinco anos. Durante este período, para além da manutenção preventiva também a correctiva é bastante significativa, uma vez que é usual existir a necessidade de reconfigurar software e reparar avarias técnicas nos aerogeradores. Após um funcionamento de cerca de 10 anos é muito provável que alguns dos principais sistemas da turbina tenham que ser revistos, tais como, bombas hidráulicas, motores, sistemas de lubrificação, etc. É esperada uma maior necessidade de manutenção correctiva perto do fim de vida do aerogerador. É de notar que, na realidade, nem as operações de manutenção correctiva nem preventiva são constantes, variando de ano para ano [Rademakers e Braam, 2002].

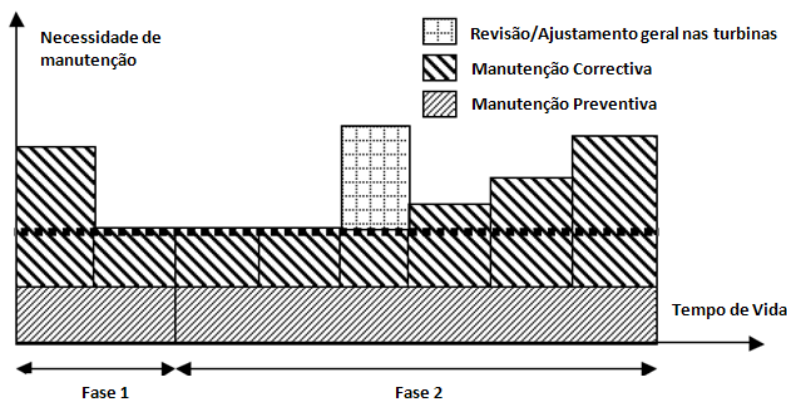


Figura 8 – Esquema de operações de manutenção ao longo da vida útil do parque eólico. [Rademakers e Braam, 2002].

Apesar dos elevados valores de disponibilidade nos parques *onshore*, esta diminui quando as turbinas são colocadas no mar, sendo a acessibilidade ao parque uma das questões mais importantes para esse decréscimo, uma vez que poderá dificultar as operações de construção e/ou manutenção. A figura 9 representa a disponibilidade do parque eólico *offshore* como função à acessibilidade do local. A acessibilidade está dependente das condições atmosféricas e marítimas e também do meio de transporte utilizado para aceder ao parque. Verifica-se através do gráfico representado na figura 9 que o afastamento à costa implica uma diminuição da disponibilidade resultante de uma menor acessibilidade.

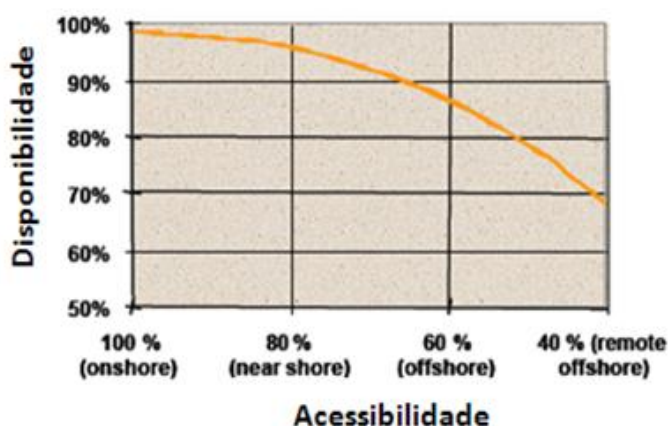


Figura 9 – Representação gráfica da disponibilidade como função da acessibilidade ao parque por barco [adaptado de Bussel e Henderson, 2002].

Foi realizado um estudo [Bussel, 2002] onde se pretendeu determinar a relação entre a acessibilidade e a disponibilidade do parque eólico. Os casos de estudo foram dois parques eólicos *offshore*: Tuno e Horns Rev. O parque de Tuno localiza-se próximo da costa (a cerca de 6 km) e o de Horns Rev situa-se ao largo do Mar do Norte (a 14 km da costa Dinamarquesa).

Verificou-se para o caso de Tuno uma disponibilidade de 97%, o que corresponde uma acessibilidade de cerca de 85% (por barco). Quanto ao parque eólico de Horns Rev, este apresenta uma disponibilidade de 90% e uma acessibilidade de barco significativamente mais baixa, cerca de 65%. No entanto, segundo o estudo, se for adoptada uma estratégia correcta de manutenção e se o acesso ao parque eólico for efectuado por helicóptero, a disponibilidade destes parques mais afastados da costa poderão atingir os 95% e a acessibilidade poderá chegar os 85%, ou seja, uma acessibilidade próxima dos parques eólicos *offshore* próximos da costa.

A utilização do helicóptero poderá ocorrer, por exemplo, quando a ondulação marítima não permita a deslocação por barco, ou quando é necessária uma intervenção rápida, tendo no entanto em conta que a sua utilização poderá ser dispendiosa.

2.2 Tempo de Reparação

O tempo de reparação corresponde ao período compreendido entre o momento em que ocorre a avaria do aerogerador e o reinício do seu pleno funcionamento, ou seja, o tempo durante o qual o aerogerador está inoperacional. Este período pode ser dividido em várias fases e depende de três factores principais: tempo de logística, tempo de espera e tempo de missão, sendo que este último é função do tempo de viagem e de intervenção (figura 10).

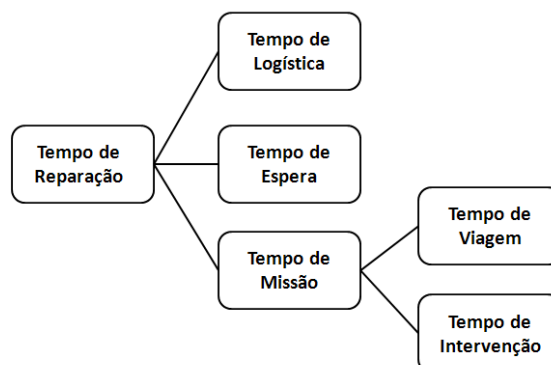


Figura 10 – Esquema das várias fases envolvidas durante o tempo de reparação.

Por tempo de logística entende-se toda a fase de preparação para a reparação do aerogerador, nomeadamente, a organização da equipa técnica, o material necessário aos trabalhos de reparação ou escolha/disponibilidade de transporte a utilizar, entre outros aspectos. Após todos os preparativos logísticos serem realizados, poderá acontecer que a acessibilidade ao parque eólico seja negada devido a condições meteorológicas adversas. O tempo de espera corresponde ao período durante o qual a ondulação e a velocidade do vento não permitam a realização da missão. A última condicionante do tempo de reparação é o tempo de missão. Este parâmetro engloba o tempo de viagem até ao aerogerador que apresenta a avaria e o tempo que levará a repará-la. A janela de oportunidade deverá ser suficientemente longa de forma a permitir que todo o tempo de missão seja realizado em condições meteorológicas favoráveis [Rademakers e Braam, 2002].

2.3 Principais Causas de Inacessibilidade aos Parques Eólicos *Offshore*

As principais causas responsáveis pela inacessibilidade aos parques eólicos *offshore* são as condições meteorológicas, nomeadamente a ondulação marítima e a velocidade do vento. Uma outra variante meteorológica a ter em conta é a visibilidade, designadamente a formação de nevoeiros. Muito embora esta última variável seja de grande importância, não foram disponibilizados dados de visibilidade, pelo que as condições de nevoeiros e fraca visibilidade não serão consideradas neste trabalho.

Assim, é essencial conhecer as janelas de oportunidade das condições atmosféricas e marítimas que permitem a realização de determinadas operações, de forma a tornar possível definir uma estratégia de manutenção adequada e ajustada ao local do parque eólico *offshore* durante o seu período de vida, bem como estimar o impacto dessas condições na disponibilidade expectável do parque eólico.

3. METODOLOGIA

3.1 Localização dos Zonas de Estudo

Para a realização desta dissertação foram escolhidos três casos de estudo. Na tabela 1 e na figura 11 apresentam-se as localizações dos mesmos.

Tabela 1- Localização de cada caso de estudo.

Zona	Distância à costa (km)	Profundidade (m)	Coordenadas					
			Geográficas WGS84		Polares		Métricas Datum Lx	
			Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude
Zona 1	2	30	8°53'58.8''	41°49'53.6''	-8.9°	41.8°	136219	540702
Zona 2	9	38	8°47'51.4''	41°09'20.7''	-8.8°	41.2°	144120	465571
Zona 3	5	38	9°25'15.1''	39°10'58.8''	-9.4°	39.2°	88623	247067

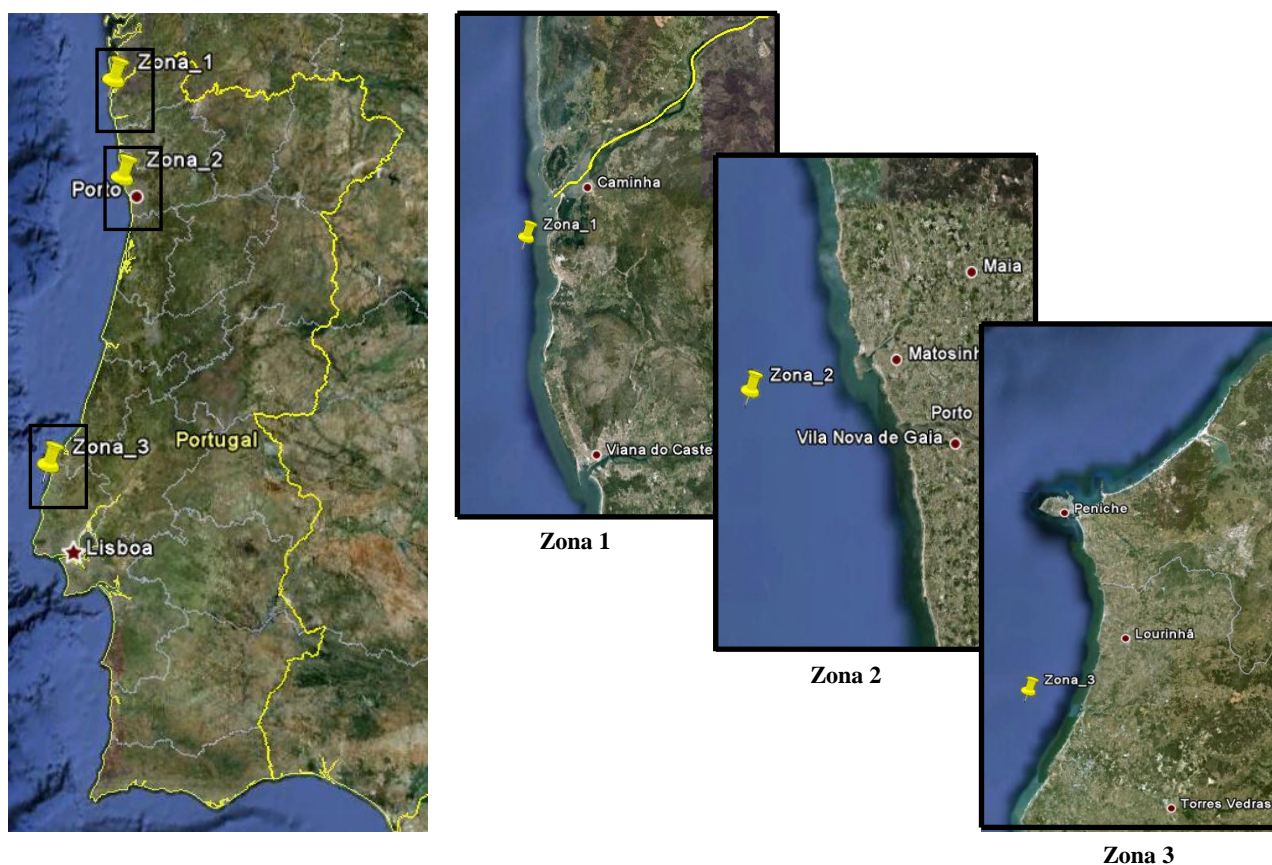


Figura 11 – Localização de cada caso de estudo [Google Earth, 2010].

As escolhas dos locais para o desenvolvimento deste estudo devem-se, por um lado, a serem zonas ao largo de regiões densamente povoadas o que, aliado ao elevado recurso energético estimado para estas regiões marítimas (figura 12) as torna especialmente adequadas para o desenvolvimento de parques eólicos *offshore*. Por outro lado, a distância à costa e a profundidade a que estão localizados os locais escolhidos, tornam estas zonas candidatas para a concretização do estudo.

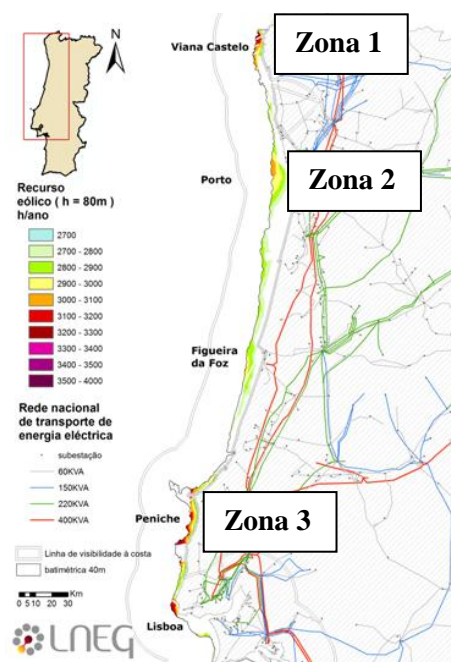


Figura 12 – Potencial eólico da costa portuguesa [Costa et al, 2006].

3.2 Dados das Zonas de Estudo

Os dados utilizados neste estudo foram gerados e fornecidos pela empresa dinamarquesa ConWx ApS. Esta empresa dedica-se à previsão do estado do tempo e da ondulação marítima utilizando os modelos numéricos IRIE e WaveWarch III (v.3.14) [ConWx, 2010]. Foram disponibilizados dados horários, para três pontos (tabela 1) referentes a um período de 10 anos, compreendido entre os dias 03 de Janeiro de 2000 a 31 de Dezembro de 2009, para o caso dos parâmetros do vento e entre os dias 03 de Janeiro de 2000 a 03 de Janeiro de 2009, para os dados referentes à ondulação. Os parâmetros disponibilizados foram:

- Altura significativa das ondas
- Período das ondas
- Direcção das ondas
- Velocidade do vento a 10 metros de altura
- Velocidade do vento a 100 metros de altura
- Direcção do vento

Posteriormente os dados de vento foram comparados com os valores obtidos no *Atlas de Vento Offshore* desenvolvido pelo LNEG [Costa et al, 2006], que se baseia no modelo MM5 e em dados medidos em estações de costa os quais sugeriram a introdução de factores de correcção (numa perspectiva de segurança) nos dados de longo termo disponibilizados pela ConWx ApS. Na tabela 2 são apresentados os factores de correcção utilizados. Também os dados referentes às variáveis marítimas foram comparados com os dados publicados no documento *Atlas de Ondas em Portugal – ONDATLAS* [INETI, 2003], produzido pelo INETI para o IPTM. O *ONDATLAS* é baseado em dados *hindcast* dos anos 1988 a 1999 obtidos de um modelo numérico vento-onde de 3ª geração, acoplado a um modelo de *ray tracing* para locais em águas pouco profundas junto à costa. São apresentados os factores de correcção utilizados para as séries de ondas de longo termo na tabela 3. Verificou-se que quer os dados de velocidade do vento quer os dados da altura significativa das ondas cedidos pela empresa ConWx ApS estavam subestimados. Quanto às rosas de vento e da onda verificou-se uma concordância entre as direcções dos dados cedidos e as obtidas no *Atlas de Vento Offshore*, no

entanto, as rosas de direcção das ondas não estão de acordo com as publicadas no ONDATLAS, apresentando uma forte componente de norte, que segundo o ONDATLAS e através de medições realizadas em regiões próximas das zonas de estudo, deveriam ser do quadrante oeste-noroeste.

Tabela 2 – Velocidades médias do vento obtidas com os dois modelos e o factor aplicado.

Zona	Velocidade do Vento a 100m de altura (m/s)		Factor Aplicado
	Modelo IRIE	Atlas de Vento	
Zona 1	5.73	7.68	1.34
Zona 2	6.43	7.39	1.15
Zona 3	6.51	7.53	1.16

Tabela 3 – Altura significativa das ondas obtidas com os dois modelos e o factor aplicado.

Zona	Altura Significativa (m)		Factor Aplicado
	WaveWarch III	ONDATLAS	
Zona 1	1.16	2.01	1.73
Zona 2	1.24	2.00	1.61
Zona 3	1.35	2.13	1.58

3.3 Fundamentos Teóricos

Os métodos estatísticos apresentam-se como a melhor ferramenta para a análise do comportamento do vento e da ondulação marítima. Desta forma, para se estimarem os seus comportamentos probabilísticos recorre-se às leis das distribuições de probabilidades. A função de distribuição que melhor representa a distribuição da velocidade do vento é a distribuição de Weibull [Yilmaz et al, 2008]. Esta distribuição é também defendida como uma das melhores opções para representar a distribuição da altura significativa das ondas do mar (Holthuijsen, 2007). A Função de Densidade de Probabilidade da distribuição de Weibull é dada pela Eq. 3.1:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{A} \left(\frac{x}{A}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{A}\right)^k\right], & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Sendo k o parâmetro de forma (adimensional) e A o de escala (unidades da variável de estudo).

A Função de Distribuição Acumulada representa a probabilidade de uma variável não exceder um determinado valor, no caso da distribuição de Weibull é expressa pela Eq. 3.2:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{A}\right)^k\right] \quad (3.2)$$

A distribuição Normal ou Gaussiana é também muito utilizada em análises estatísticas. É uma distribuição simétrica em torno da sua média, dependendo de dois parâmetros que são a média e a variância da distribuição [Priestley, 1992]. A função de densidade de probabilidade desta distribuição é dada pela Eq. 3.3:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3.3)$$

sendo que $x \in \mathbb{R}$, $\mu \in \mathbb{R}$ e $\sigma > 0$

3.3.1 Ventos Extremos e Período de Retorno

Para além da distribuição da velocidade do vento num determinado local, um aspecto muito importante a ter em conta para o desenvolvimento e construção de parques eólicos está relacionado com a ocorrência de ventos extremos e com o seu período de retorno. Este fenómeno caracteriza-se por ventos de velocidades muito elevadas e, normalmente, de curta duração.

Na costa portuguesa os ventos extremos ocorrem maioritariamente no Inverno e estão, na maior parte dos casos, relacionados com episódios associados a depressões cavadas e superfícies frontais activas. Menciona-se ainda a existência da Nortada, durante o período de Verão, provocada pela acção conjunta da brisa marítima e da depressão de origem térmica que se forma no centro da Península Ibérica, responsável por valores elevados do vento, especialmente na zona Oeste. Para o caso de parques eólicos *offshore* há ainda que analisar os fenómenos extremos e os períodos de retorno referentes à altura significativa das ondas do mar. Os valores mais elevados desta variável estão, na maior parte dos casos, relacionados com o fenómeno dominado de ondulação (ou swell), que têm origem em tempestades geradas no Oceano Atlântico, longe da costa portuguesa. Muito embora este seja o fenómeno responsável pela maioria dos valores mais elevados da altura significativa das ondas, também é possível obter-se valores extremos em ondas geradas pelo vento local (vagas).

A ocorrência de ventos extremos faz-se sentir de forma negativa nos parques eólicos. Devido à elevada velocidade do vento que estes fenómenos geram, a própria segurança dos aerogeradores pode ser comprometida. Por forma a minimizar os riscos e para que a integridade dos aerogeradores esteja ressaltada, quando o parque eólico é sujeito a este tipo de fenómeno, as turbinas são retiradas do modo de operação normal e as pás das turbinas são colocadas em posição paralela ao escoamento incidente por forma a minimizar as cargas mecânicas, o que se traduz numa perda significativa de produção de energia.

O principal método utilizado para modelar a ocorrência de fenómenos extremos por meio do ajuste de distribuição de probabilidades é a aplicação da distribuição de Gumbel (Tipo I) [Bautista et al, 2004 e Persson et al, 2010]. O método da distribuição de Gumbel consiste no ajuste da distribuição a uma amostra dos valores máximos anuais e é, tal com no caso da distribuição de Weibull, uma distribuição de dois parâmetros: μ (parâmetro de localização) e β (parâmetro de escala), sendo que ambos os parâmetros tem as mesmas unidades que a variável em estudo. O parâmetro de localização especifica o valor mais provável da variável e o parâmetro de escala determina a largura da distribuição. As Funções de Densidade de Probabilidade e de Distribuição Acumulada, no caso da distribuição de Gumbel, são dadas pelas Eq. 3.4 e 3.5, respectivamente:

$$f(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(x-\mu)}{\beta}\right)\right\} \cdot \exp\left(-\frac{(x-\mu)}{\beta}\right) \cdot \frac{1}{\beta} \quad (3.4)$$

com $\mu > 0$ e $-\infty < \beta < +\infty$.

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(x-\mu)}{\beta}\right)\right\} \quad (3.5)$$

A probabilidade acumulada corresponde à probabilidade de uma variável não exceder um determinado valor, por outro lado a probabilidade de excedência tem o significado oposto, ou seja, representa a probabilidade de um certo valor ser excedido, esta probabilidade é dada pela Eq. 3.6:

$$P(x) = 1 - F(x) \quad (3.6)$$

O período de retorno é um conceito importante e bastante útil no campo da análise dos valores extremos. É de grande relevância em questões de análise de risco e de dimensionamento de obras de

engenharia, e o seu conhecimento visa minimizar os efeitos prejudiciais de um determinado fenómeno natural. É um conceito estatístico, definido como o intervalo de tempo médio em que uma variável é igualada ou excedida e pode ser expresso como o inverso da probabilidade de excedência (Eq. 3.7).

$$R = \frac{1}{P(x)} = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (3.7)$$

Muitas vezes pretende-se conhecer qual o valor extremo de uma determinada variável correspondente a um período de retorno particular, por exemplo 20, 50 ou 100 anos. A Eq. 3.8 permite obter o valor extremo anual para uma distribuição de Gumbel e período de retorno específicos:

$$v = \mu - \beta \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{R} \right) \right] \quad (3.8)$$

sendo μ e β os parâmetros da distribuição de Gumbel e R o período de retorno (em anos).

Parar o estudo dos valores extremos, através da distribuição de Gumbel, foi criada uma série constituída pelos valores máximos da velocidade do vento e da altura significativa das ondas do mar de cada ano.

3.3.2 Janelas de Oportunidade

Devido a condições meteorológicas adversas um parque eólico *offshore* poderá estar inacessível durante um determinado período de tempo ou, mesmo que a sua acessibilidade esteja garantida, poderá não ser permitida a realização de determinadas tarefas no parque eólico. Normalmente o acesso às turbinas eólicas em parques *offshore* é realizado através de um barco de borracha simples, embora por vezes se recorra ao uso do helicóptero e a embarcações preparadas com *Offshore Access System* (OAS), que consiste na utilização de uma prancha/corredor flexível a partir de um barco que permite o acesso da tripulação aos aerogeradores. Assim, a acessibilidade ao parque eólico depende não só das condições meteorológicas anteriormente referidas, mas também do meio de transporte utilizado [Prins, 2001]. Na figura 13 estão representados os possíveis meios de transporte para aceder aos parques eólicos *offshores*.

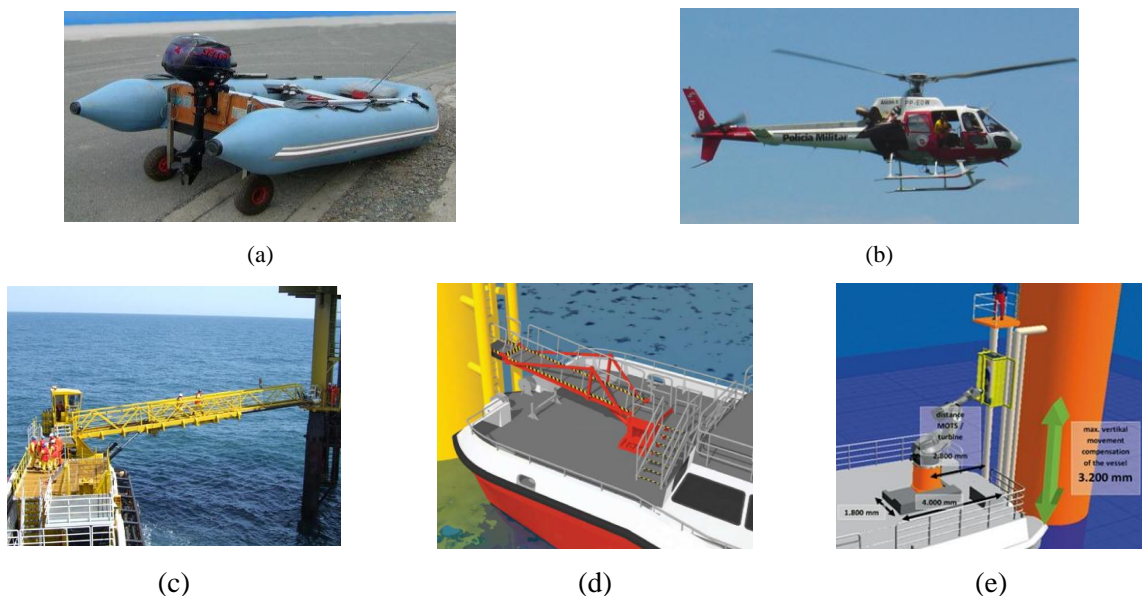


Figura 13 – Meios de transporte para aceder ao parque eólico *offshore* (a) barco de borracha (b) helicóptero (c), (d) e (e) barcos/navios equipados com sistema OAS.

Apesar de a forma mais prática e favorável de aceder às turbinas do parque ser através do uso de um barco pequeno [Bussel e Schöntag, 1997], a utilização do helicóptero como meio de transporte até aos aerogeradores é por vezes sugerida. No entanto, visitar os parques eólicos *offshore* por helicóptero é dispendioso e não é um procedimento simples. Todos os aerogeradores terão que possuir uma plataforma na nacelle, de forma a permitir o desembarque da tripulação [Bussel, 2002].

O gráfico representado na figura 14 mostra os custos (em ECU – Engine Control Unit) de um dia de operações de manutenção em função da distância do parque do parque à costa, utilizando um barco e um helicóptero como meio de transporte.

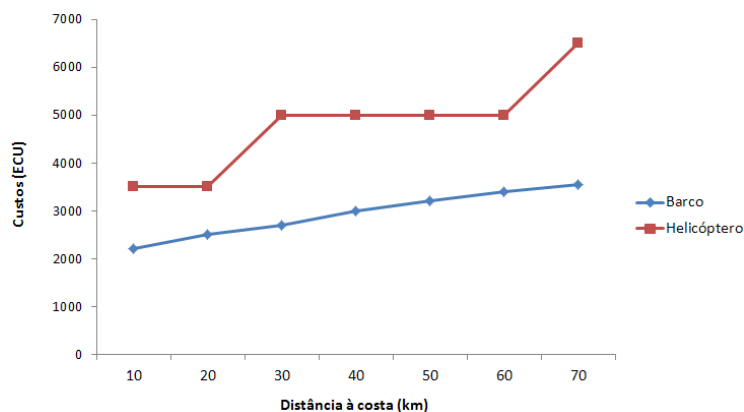


Figura 14 – Representação gráfica da comparação dos custos entre o uso de barco e helicóptero para acções de manutenção nos parques eólicos *offshore*, em função da distância entre o parque e a costa [adaptado de Bussel e Schöntag, 1997].

Assim, o uso de barcos com OAS poderão ser a resposta mais adequada para condições meteorológicas menos favoráveis, elevando de forma significativa a acessibilidade do parque eólico. A tabela 4 apresenta as condições meteorológicas limites de acessibilidade (velocidade do vento e altura significativa das ondas) para diferentes sistemas de acesso [Bussel et al, 2003].

Tabela 4 – Critérios de condições meteorológicas para a acessibilidade aos parques eólicos *offshore* para diferentes sistemas de acesso.

Sistema de Acesso	Altura significativa das ondas máxima (m)	Velocidade do vento máxima (m/s)
Barco de borracha	1.5	10.0
Barco com OAS	2.5	12.0
Helicóptero	-	20.0

Para além da determinação dos limites máximos que permitem a acessibilidade aos parques eólicos *offshore* é também importante ter em atenção que diferentes actividades de construção/manutenção correspondem a diferentes critérios de acessibilidade e de segurança para execução das várias tarefas. Na tabela 5 são apresentadas as condições meteorológicas limitadoras para diferentes acções de construção/manutenção nos parques eólicos *offshore* [Rademakers et al, 2002 e McMillan et al, 2002].

Tabela 5 – Restrições de diferentes acções de construção/manutenção de parques eólicos *offshore* devidas a condições meteorológicas.

Velocidade do vento máxima (m/s)	Tarefa
5.0	Subir o mastro
7.0	Inspeção da torre e das pás
12.0	Subir ao rotor
17.0	Trabalhar dentro da nacelle

A determinação das janelas de oportunidade que permitem o acesso ao parque eólico e a realização de determinadas tarefas, começa pela definição do V_{max} (velocidade do vento máxima) e Hs_{max} (altura significativa máxima das ondas). Como está enunciado nas tabelas 4 e 5, a utilização de diferentes sistemas de acesso e a realização das diversas tarefas no parque eólico *offshore* correspondem a diferentes valores de velocidade do vento e altura significativa máxima de ondas. Assim, se a velocidade do vento e altura significativa das ondas forem, num determinado momento, inferiores a V_{max} e Hs_{max} existe uma janela de oportunidade, caso contrário, as condições meteorológicas são adversas, não permitindo o acesso ao parque ou a realização de uma tarefa específica (tempo de espera).

Se a duração da janela de oportunidade ($T_{janela\ de\ oportunidade}$) for inferior ao tempo necessário para a realização de uma determinada tarefa ($T_{necessário}$), então essa tarefa não poderá ser efectuada. A tarefa apenas poderá ser realizada se $T_{janela\ de\ oportunidade}$ for maior ou igual a $T_{necessário}$.

Na figura 15 é apresentado um esquema que representa o processo da determinação das janelas de oportunidade e se a sua duração é suficiente para a realização de uma tarefa específica.

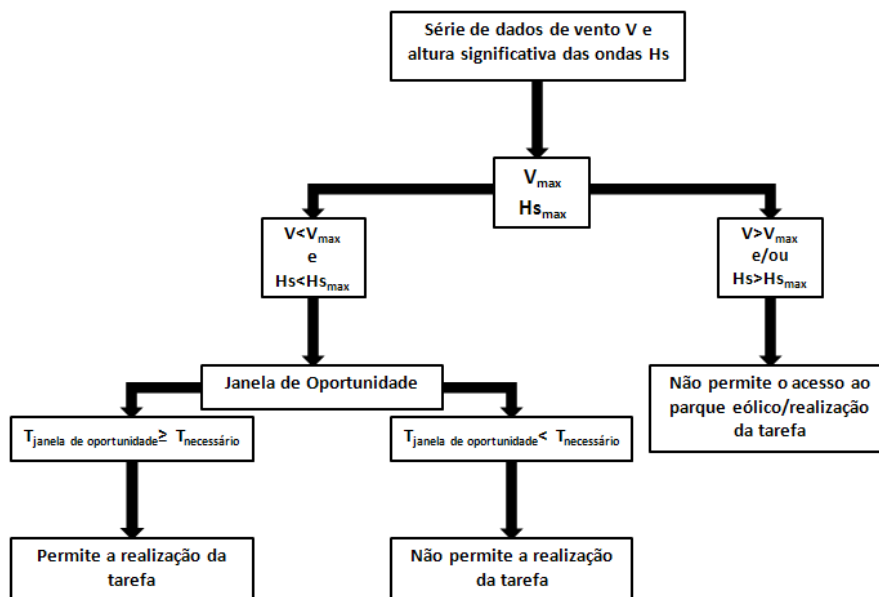


Figura 15 – Processo da determinação das janelas de oportunidade.

A título ilustrativo apresenta-se na figura 16 uma pequena parte de uma série temporal da velocidade do vento e da altura significativa das ondas. Na figura estão também representadas as linhas correspondentes a $V_{max} = 12\text{ m/s}$ e $Hs_{max} = 2.5\text{ m}$ (critérios limite para acessibilidade ao parque *offshore* através de um barco equipado com OAS). As linhas a verde e vermelho correspondem ao período de janelas de oportunidade e tempos de espera (períodos que devido a condições meteorológicas não permitem o acesso ao parque), respectivamente.

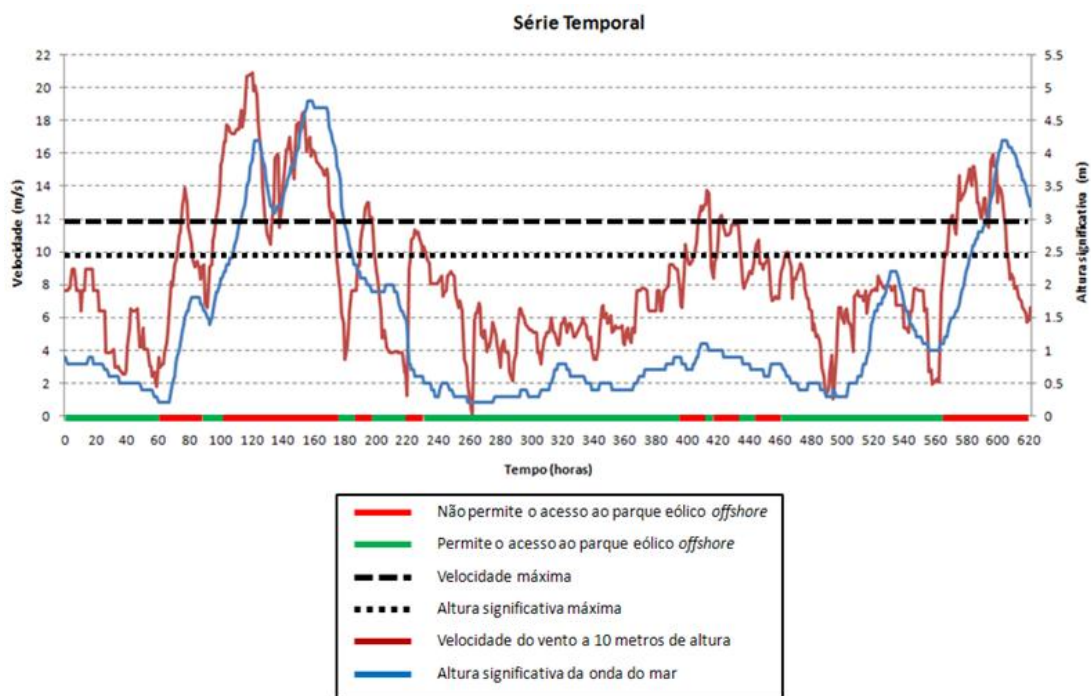


Figura 16 – Gráfico de uma série temporal indicativa da acessibilidade a um parque eólico *offshore* utilizando como meio de transporte um barco equipado com OAS.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

As séries temporais de dados de vento e da ondulação marítima foram processadas de forma a caracterizarem as condições ambientais dos três locais aqui estudados. Para a realização da análise das mesmas foram utilizados os *softwares* WASP [Mortensen, 2004], Windographer [Mistaya Engineering Inc, 2011] e ainda programas desenvolvidos em Matlab.

4.1 Caracterização do Escoamento Atmosférico e do Estado do Mar

Após a aplicação nos dados dos factores correctivos enunciados nas tabelas 2 e 3 apresentam-se seguidamente os parâmetros estatísticos e de escoamento, bem como os perfis verticais, diários, mensais e anuais da velocidade do vento aos 10 e 100 metros de altura e da altura significativa das ondas do mar para cada uma das três zonas em análise. A curva apresentada no gráfico referente ao perfil vertical do vento foi ajustada com recurso à equação da potência:

$$V_a = V_b \left(\frac{H_a}{H_b} \right)^\alpha \quad (4.1)$$

Os dados são referentes ao período compreendido entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010 para o caso do vento e entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2009 para os dados referentes à ondulação marítima.

4.1.1 Zona 1

Seguidamente apresentam-se na tabela 6 os parâmetros estatísticos da velocidade do vento e da altura significativa das ondas do mar para a Zona 1. São exibidos os valores médios, máximos e mínimos das variáveis: altura significativa da onda marítima (H_s) e velocidades do vento a 10 (V_{10m}) e 100 metros (V_{100m}) de altura. Na figura 17 estão representados os gráficos do perfil vertical, diários, mensal e anual da velocidade do vento para as duas alturas de simulação (10 e 100 metros).

Tabela 6 – Parâmetros estatísticos, após a aplicação dos factores correctivos, para os dados da velocidade do vento e da altura significativa das ondas do mar para a zona 1, compreendidos nos períodos entre 03.01.2000 a 31.12.2010 e entre 03.01.2000 e 03.01.2009, respectivamente.

	Hs (m)	V_{10m} (m/s)	V_{100m} (m/s)
Média	2.01	5.81	7.88
Máximo	12.1	22.5	30.8
Mínimo	0.00	0.00	0.00

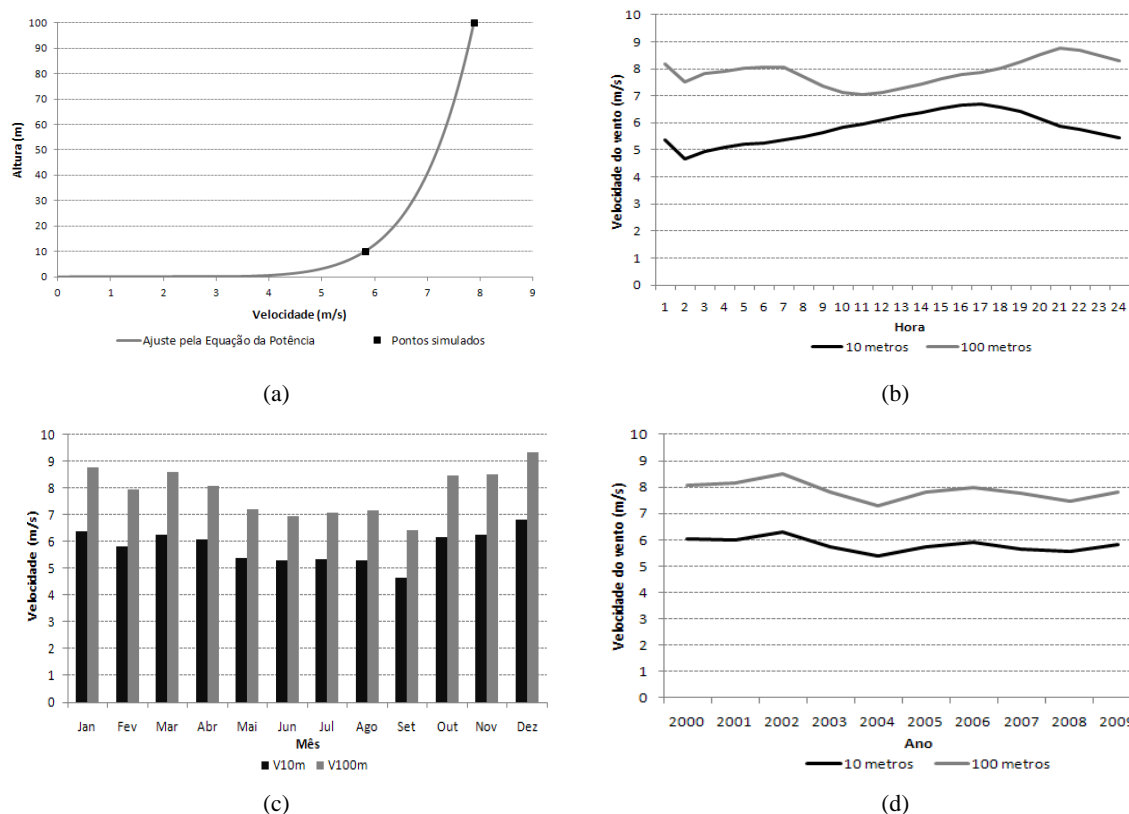


Figura 17 – Caracterização do escoamento atmosférico, após aplicação nos dados dos factores correctivos, da Zona 1 para 10 e 100 metros de altura para o período compreendido entre 03.01.2000 e 31.12.2010 (a) perfil vertical, está representada a curva da equação de potência ajustada às duas alturas simuladas, (b) perfil diário do vento, (c) perfil mensal e (d) anual.

A tabela 7 apresenta a rosa de ventos da Zona 1 e a frequência (em percentagem) de ocorrências em cada sector. Na figura 18 estão representados os histogramas da distribuição de velocidade (por bin de velocidade) e as curvas de ajuste da distribuição de Weibull para as duas alturas de simulação (10 e 100 metros) e na tabela 8 apresentam-se os parâmetros das mesmas. As frequências de ocorrência de velocidade em cada bin de velocidade para os 10 e 100 metros de altura são apresentadas na tabela I.1 do ANEXO.

Tabela 7 – Rosa de Ventos da Zona 1 para o período compreendido entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010.

Rosa direcção do vento	Sector (°)	Frequência (%)
	0	20.6
	30	8.0
	60	4.5
	90	1.9
	120	5.9
	150	9.9
	180	12.5
	210	7.7
	240	4.4
	270	2.3
	300	6.7
	330	15.7

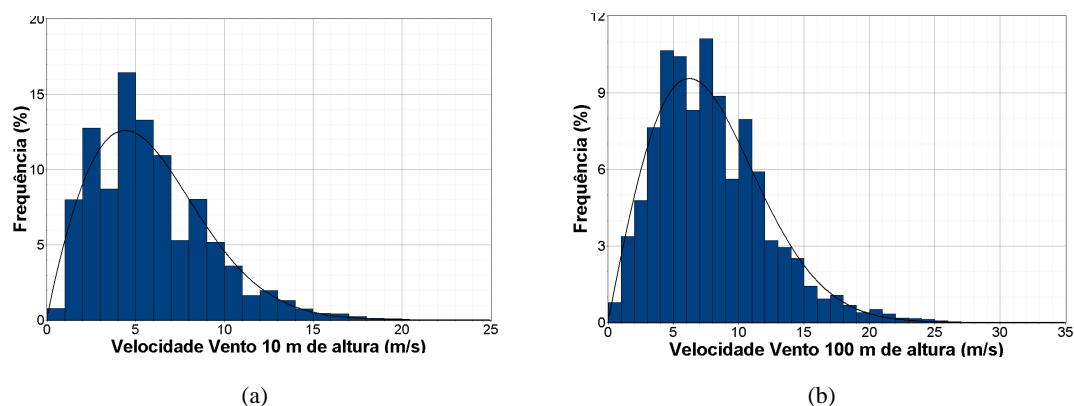


Figura 18 – Histogramas da distribuição de frequências de velocidade, após aplicação nos dados dos factores correctivos, e curvas de ajuste da distribuição de Weibull para (a) 10 e (b) 100 metros de altura (valores globais, todos os sectores), para o período entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010, para a Zona 1.

Tabela 8 – Parâmetros da distribuição de Weibull para os dados de velocidade do vento aos 10 e 100 metros de altura, no período entre 03.01.2000 e 31.12.2010, para a Zona 1.

Altura de simulação (m)	Parâmetros da Weibull	
	A (m/s)	k
10	6.40	1.70
100	8.50	1.85

Os parâmetros da distribuição de Weibull para as alturas de simulação por sector estão apresentados nas tabelas I.2 e I.3 do ANEXO. O gráfico representado na figura 19 apresenta a dispersão entre os dados simulados aos 10 e 100 metros de altura, assim como a recta de melhor ajuste.

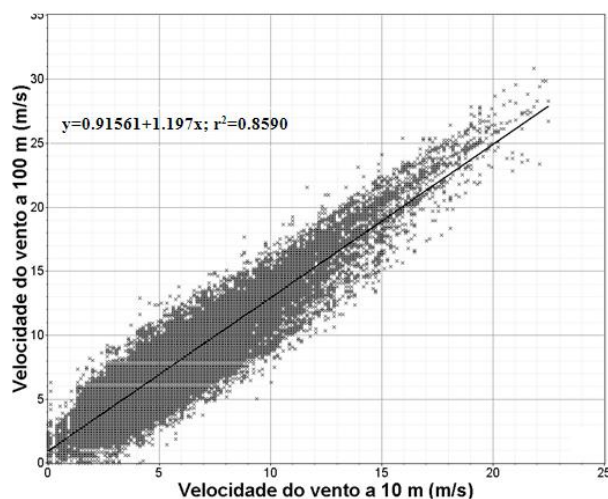


Figura 19 – Dispersão dos dados, após aplicação dos factores correctivos, simulados para a velocidade do vento a 10 e 100 metros de altura para o período de 03.01.2000 a 31.12.2010, para a Zona 1.

Na tabela 9 são apresentados os parâmetros estatísticos sazonais do vento e do mar para a Zona 1. São exibidos os valores médios, máximos e mínimos sazonais das variáveis: altura significativa da onda e velocidades do vento a 10 e 100 metros de altura. Na tabela 10 apresentam-se as rosas de vento, distribuição de frequências de velocidade do vento e parâmetros da distribuição de Weibull (para 10 e 100 metros de altura) sazonais.

Foram considerados os meses de Março, Abril e Maio como estação de Primavera, o período de Verão é constituído pelos meses de Junho, Julho e Agosto, os meses de Setembro, Outubro e Novembro compõem a estação de Outono e os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro à de Inverno.

Tabela 9 – Parâmetros estatísticos sazonais do vento e do mar para a zona 1, após aplicação dos factores correctivos, para o período simulado entre os dias 03.01.2000 e 03.01.2000 e entre 03.01.2000 e 03.01.2009, respectivamente.

		Hs (m)	V10m (m/s)	V100m (m/s)
Primavera	Média	2.11	5.91	7.94
	Máximo	8.30	22.1	29.4
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Verão	Média	1.40	5.31	7.06
	Máximo	6.75	16.2	21.7
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Outono	Média	2.12	5.71	7.82
	Máximo	12.1	22.5	30.8
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Inverno	Média	2.43	6.36	8.72
	Máximo	12.0	22.5	28.2
	Mínimo	0.00	0.00	0.00

Tabela 10 – Rosa de ventos, distribuição de frequências de velocidade do vento e parâmetros da distribuição de Weibull (para 10 e 100 metros de altura) sazonais, após aplicação do factor correctivo, para o período de simulação de 03.01.2000 a 31.12.2010, para a Zona 1.

Estação do ano	Rosa de Ventos	Distribuição de frequência de velocidade do vento (h=10m)	Distribuição de frequência de velocidade do vento (h=100m)
Primavera			
Verão			
Outono			
Inverno			

Os gráficos apresentados na figura 20 representam os perfis mensais, diários e anuais, da ondulação marítima, respectivamente.

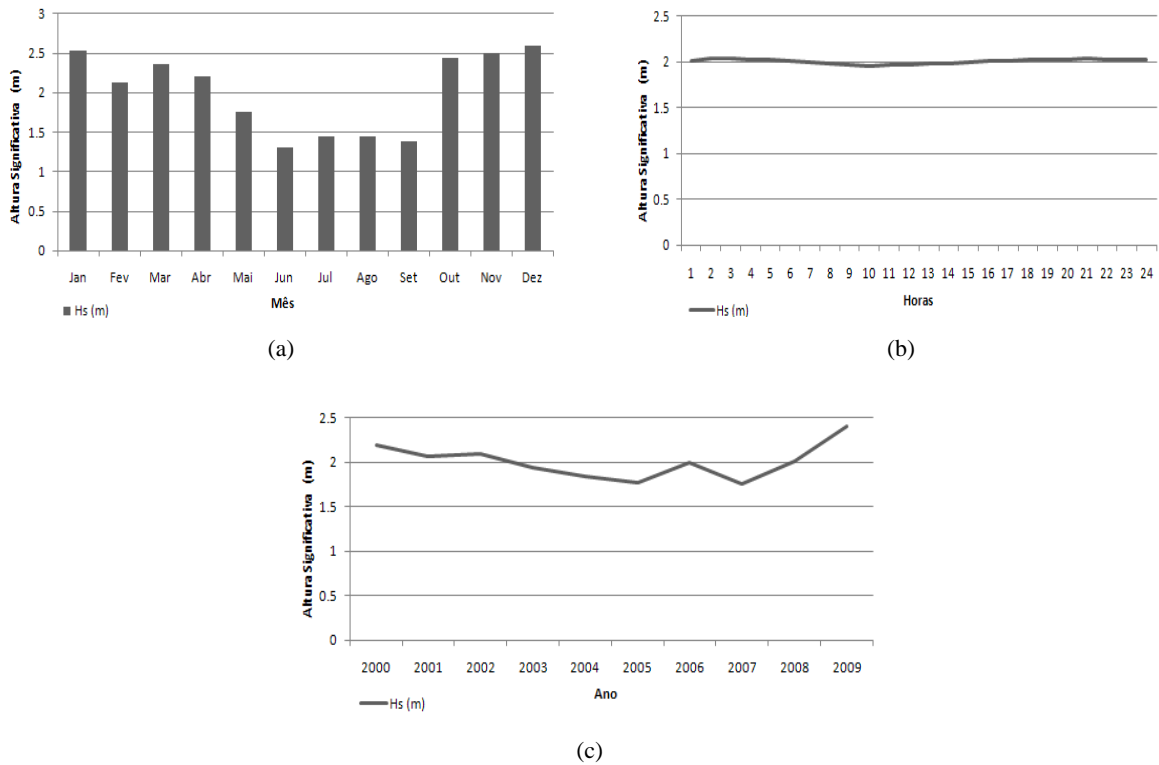


Figura 20 – Caracterização do estado do mar (altura significativa) na Zona 1, após a aplicação do factor correctivo, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2009 (a) perfil mensal, (b) perfil diário e (c) perfil anual.

Na tabela 11 está representada a rosa de direcção das ondas da Zona 1, assim como a frequência de ocorrência em cada sector. Na figura 21 é apresentado o histograma da distribuição da altura significativa, bem como a curva de ajuste da distribuição de Weibull e na tabela 12 os parâmetros da mesma. Os parâmetros de Weibull para a altura significativa por sector estão apresentados na tabela I.4 do ANEXO.

Tabela 11 – Rosa de direcção das ondas da Zona 1, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2009.

Rosa direcção das ondas		Sector (°)	Frequência (%)
	0	22.1	
	30	10.7	
	60	3.7	
	90	1.9	
	120	4.4	
	150	8.6	
	180	14.0	
	210	9.1	
	240	4.4	
	270	2.4	
	300	5.7	
	330	13.2	

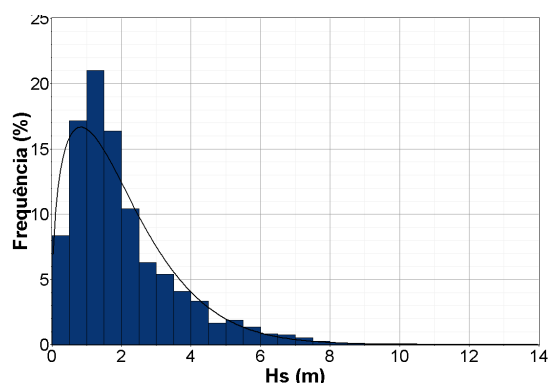


Figura 21 – Histograma da distribuição de frequência da altura significativa das ondas, após aplicação do factor correctivo, e curva de ajuste da distribuição de Weibull (valores globais, todos os sectores), para o período entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 1.

Tabela 12 – Parâmetros da Weibull para a altura significativa das ondas do mar para o período entre 03.01.2000 e 03.01.2009, no período entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 1.

Variável	Parâmetros da Weibull	
	A	k
Altura significativa das ondas	2.20 (m)	1.36

Na tabela 13 apresentam-se as rosas de direcção das ondas do mar, a distribuição de frequências da altura significativa e os correspondentes parâmetros da distribuição de Weibull sazonais.

Tabela 13 – Rosa de direcção das ondas, distribuição de frequências da altura significativa e parâmetros da distribuição de Weibull sazonais, após aplicação do factor correctivo, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 1.

Estação do ano	Rosa de Ventos	Distribuição de frequência da altura significativa da onda
Primavera		
Verão		
Outono		
Inverno		

Na figura 22 estão representadas as rosas de direcção do vento e das ondas do mar e na figura 23 o gráfico de dispersão entre a velocidade simulada aos 10 metros de altura e a altura significativa, após aplicação dos respectivos factores correctivos, para o período entre os dias 03.01.2000 e 03.01.2009.

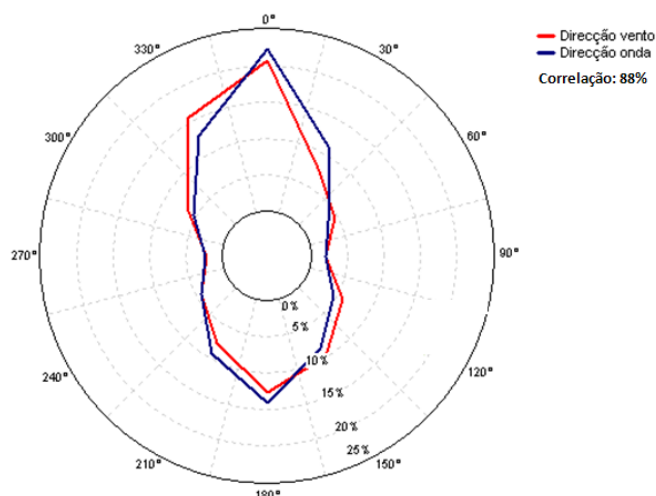


Figura 22 – Rosa de direcção de vento e das ondas do mar para o período entre 03.01.2000 e 03.01.2010, para a Zona 1.

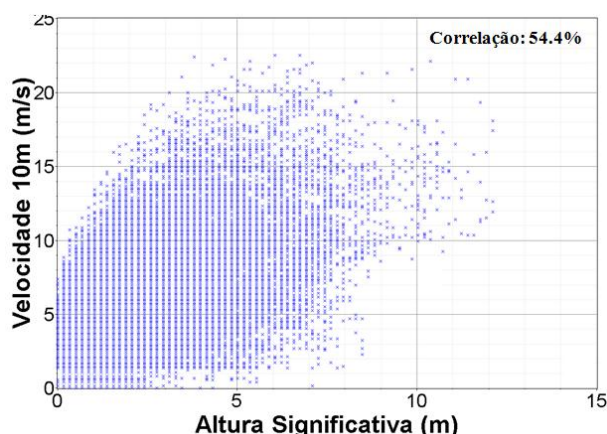


Figura 23 – Gráficos de dispersão dos dados simulados para a velocidade do vento a 10 metros de altura da altura significativa das ondas do mar, após aplicação dos respectivos factores de correcção, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2010, para a Zona 1.

4.1.2 Zona 2

Na tabela 14 são apresentados os parâmetros estatísticos do vento e do mar para a Zona 2. São exibidos os valores médios, máximos e mínimos das variáveis: altura significativa da onda (H_s) da onda e velocidades do vento a 10 e 100 metros de altura.

Tabela 14 – Parâmetros estatísticos, após a aplicação dos factores correctivos, para os dados da velocidade do vento e da altura significativa das ondas do mar para a zona 2, compreendidos nos períodos entre 03.01.2000 a 31.12.2010 e entre 03.01.2000 e 03.01.2009, respectivamente.

	H_s (m)	V_{10m} (m/s)	V_{100m} (m/s)
Média	2.00	6.36	7.61
Máximo	11.2	23.2	29.7
Mínimo	0.00	0.00	0.00

Os gráficos representados na figura 24 apresentam o perfil vertical, diário, mensal e anual do período de dados em análise da velocidade do vento na Zona 2.

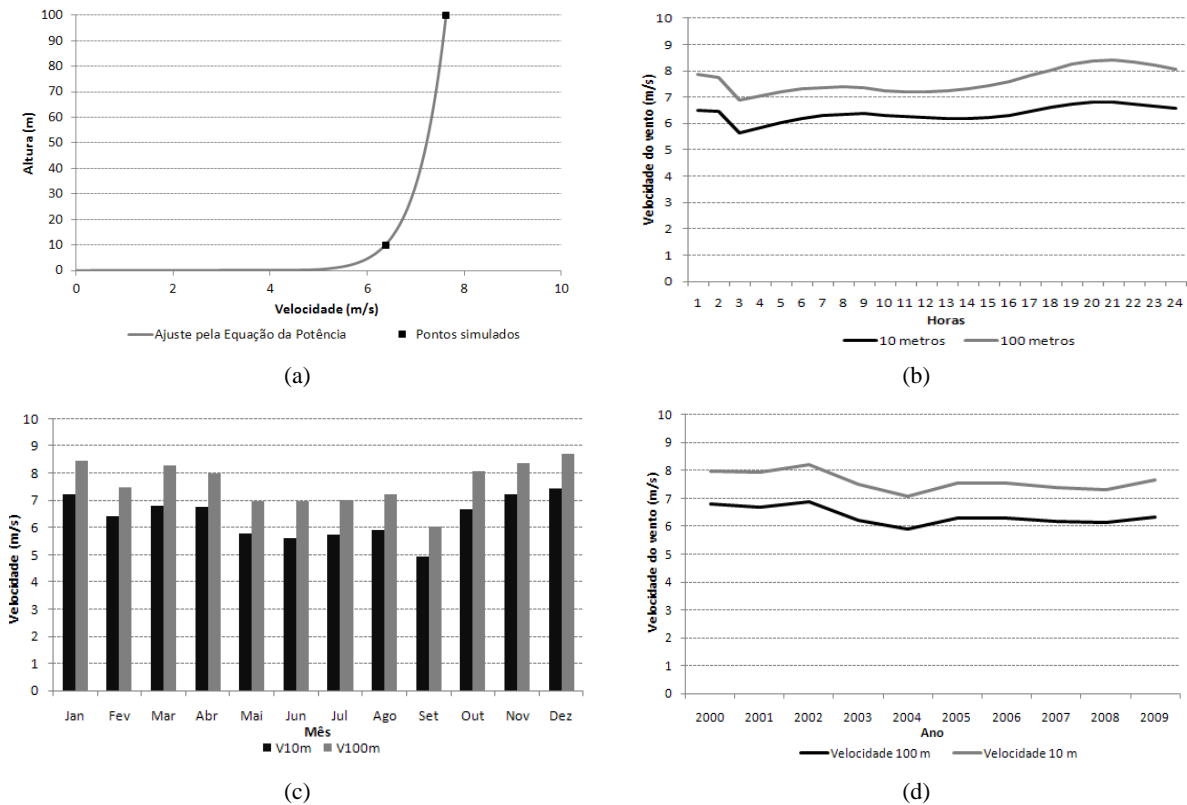


Figura 24 – Caracterização do escoamento atmosférico, após aplicação nos dados dos factores correctivos, da Zona 2 para 10 e 100 metros de altura para o período compreendido entre 03.01.2000 e 31.12.2010 (a) perfil vertical, está representada a curva da equação de potência ajustada às duas alturas simuladas, (b) perfil diário do vento, (c) perfil mensal e (d) anual.

A tabela 15 apresenta a rosa de ventos da Zona 2 e a frequência (em percentagem) de ocorrências em cada sector. Na figura 25 estão representados os histogramas da distribuição de velocidade (por bin de velocidade) e as curvas de ajuste da distribuição de Weibull para as duas alturas de simulação (10 e 100 metros) e na tabela 16 os parâmetros das mesmas. As frequências de ocorrência de velocidade em cada bin de velocidade para os 10 e 100 metros de altura são apresentadas na tabela II.1 do ANEXO.

Tabela 15 – Rosa de Ventos da Zona 2 para o período compreendido entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010.

Rosa direcção do vento	Sector (°)	Frequência (%)
	0	28.1
	30	10.4
	60	4.8
	90	1.0
	120	1.9
	150	4.8
	180	13.6
	210	10.2
	240	4.1
	270	2.1
	300	3.6
	330	15.2

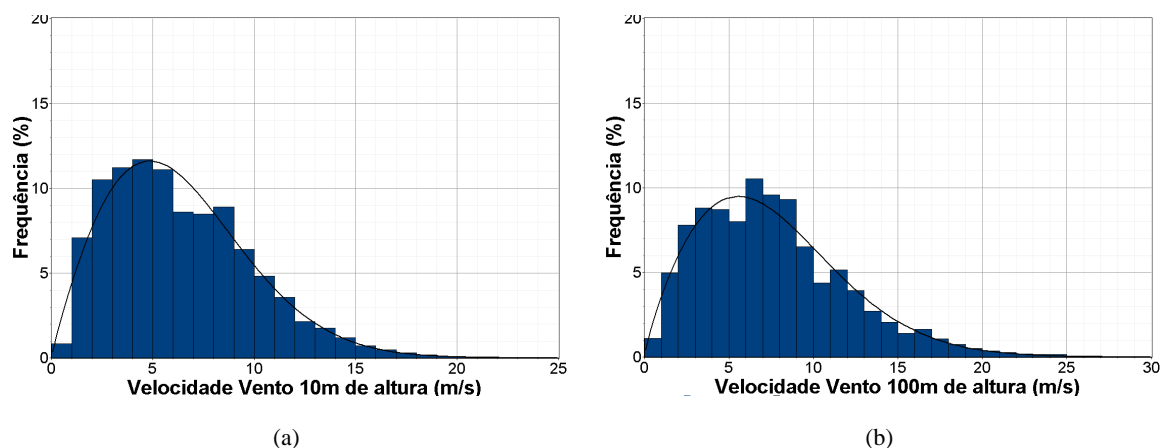


Figura 25 – Histogramas da distribuição de frequências de velocidade, após aplicação nos dados dos factores correctivos, e curvas de ajuste da distribuição de Weibull para (a) 10 e (b) 100 metros de altura (valores globais, todos os sectores), para o período entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010, para a Zona 2.

Tabela 16 – Parâmetros da Weibull para os dados de velocidade do vento aos 10 e 100 metros de altura, no período entre 03.01.2000 e 31.12.2010, para a Zona 2.

Altura de simulação (m)	Parâmetros da Weibull	
	A (m/s)	k
10	7.10	1.85
100	8.60	1.76

Os parâmetros da distribuição de Weibull para as alturas de simulação por sector estão apresentados nas tabelas II.2 e II.3 do ANEXO. O gráfico representado na figura 26 apresenta a dispersão entre os dados simulados aos 10 e 100 metros de altura, assim como a recta de melhor ajuste.

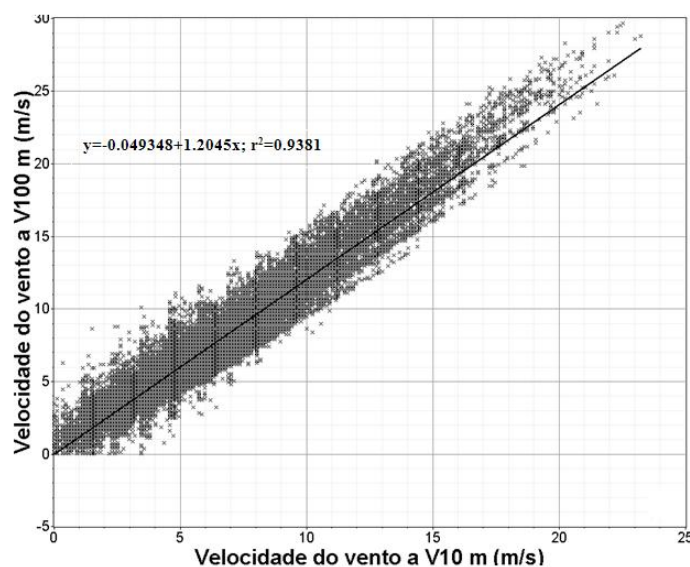


Figura 26 – Gráfico de dispersão dos dados, após aplicação do factor de correcção, simulados para a velocidade do vento a 10 e 100 metros de altura, para o período entre 03.01.2000 e 31.12.2010, para a Zona 2.

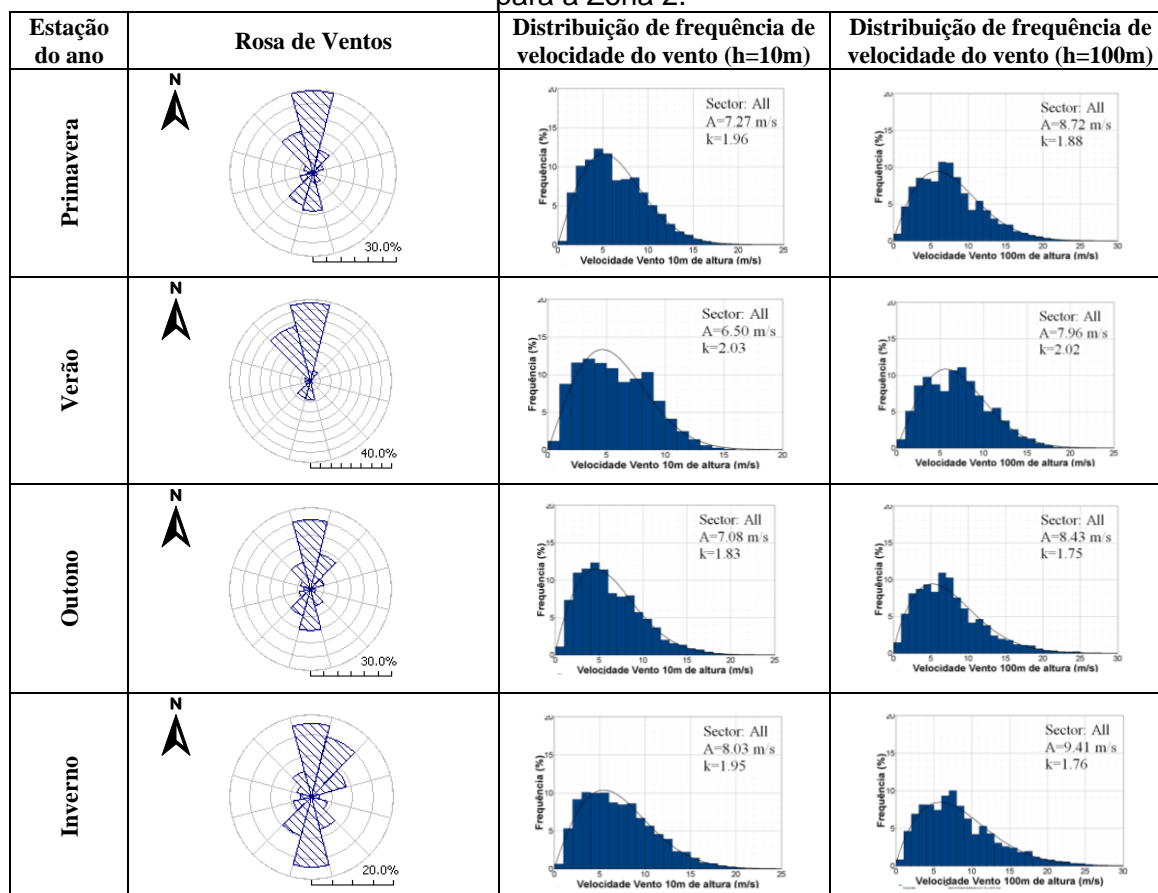
Na tabela 17 são apresentados os parâmetros estatísticos sazonais do vento e do mar para a Zona 2. São exibidos os valores médios, máximos e mínimos sazonais das variáveis: altura significativa da onda (H_s) e velocidades do vento a 10 e 100 metros de altura. Na tabela 18 apresentam-se as rosas de vento, distribuição de frequências de velocidade do vento e parâmetros da distribuição de Weibull (para 10 e 100 metros de altura) sazonais.

Os meses utilizados em cada estação do ano são os mesmos referidos na Zona 1.

Tabela 17 – Parâmetros estatísticos sazonais do vento e do mar para a zona 2, após aplicação dos factores correctivos, para o período simulado entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010 e entre 03.01.2000 e 03.01.2009, respectivamente.

		Hs (m)	V10m (m/s)	V100m (m/s)
Primavera	Média	2.09	6.43	7.73
	Máximo	8.20	21.4	28.3
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Verão	Média	1.55	5.76	7.06
	Máximo	6.11	16.4	21.5
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Outono	Média	2.05	6.28	7.50
	Máximo	11.09	23.23	29.5
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Inverno	Média	2.36	7.11	8.35
	Máximo	10.6	22.5	29.7
	Mínimo	0.00	0.00	0.00

Tabela 18 – Rosa de ventos, distribuição de frequências de velocidade do vento e parâmetros da distribuição de Weibull (para 10 e 100 metros de altura) sazonais, após aplicação do factor correctivo, para o período de simulação de 03.01.2000 a 31.12.2010, para a Zona 2.



Os gráficos apresentados na figura 27 representam o perfil diário, mensal e anual da ondulação marítima, respectivamente.

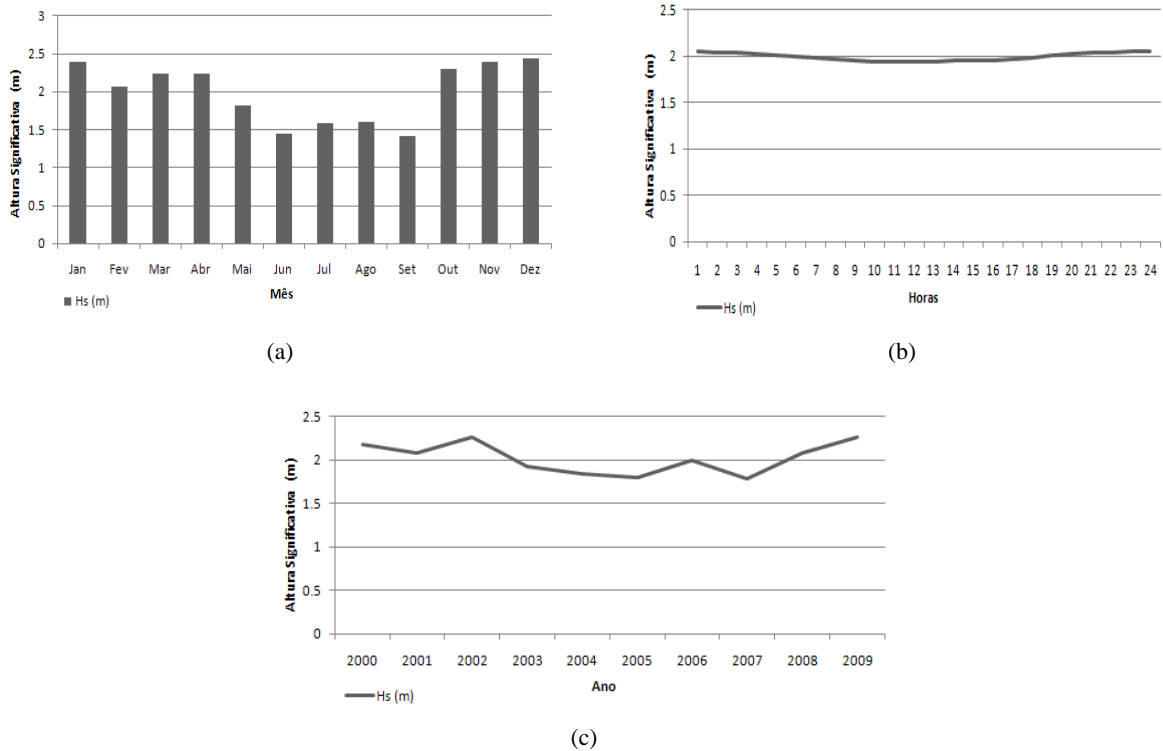
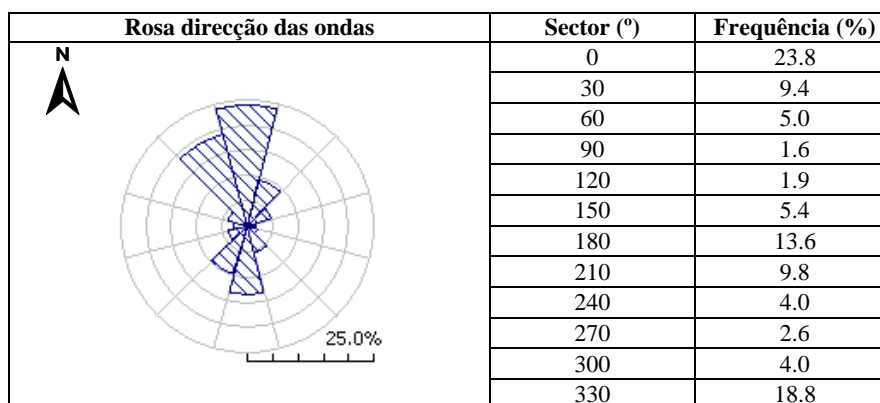


Figura 27 – Caracterização do estado do mar (altura significativa) na Zona 2, após a aplicação do factor correctivo, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2009 (a) perfil mensal, (b) perfil diário e (c) perfil anual.

Na tabela 19 está representada a rosa de direcção das ondas da Zona 2, assim como a frequência de ocorrência em cada sector. Na figura 28 é apresentado o histograma da distribuição da altura significativa das ondas, bem como a curva de ajuste da distribuição de Weibull e na tabela 20 os parâmetros da mesma. Os parâmetros de Weibull para a altura significativa, por sector estão apresentados na tabela II.4 do ANEXO.

Tabela 19 – Rosa de direcção das ondas da Zona 2, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2009.



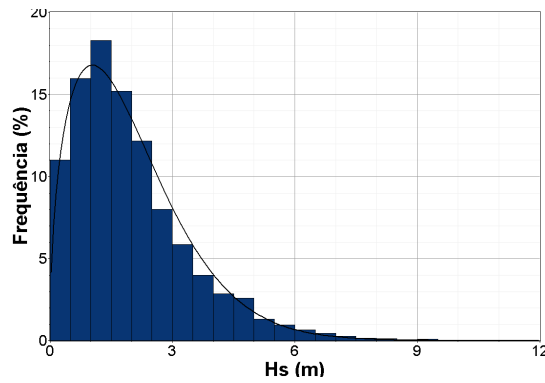


Figura 28 – Histograma da distribuição de frequência da altura significativa das ondas, após aplicação do factor correctivo, e curva de ajuste da distribuição de Weibull (valores globais, todos os sectores), para o período entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 2.

Tabela 20 – Parâmetros da Weibull para a altura significativa das ondas do mar para o período entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 2.

Variável	Parâmetros da Weibull	
	A	k
Altura significativa das ondas	2.22 (m)	1.48

Na tabela 21 apresentam-se as rosas de direcção das ondas do mar, distribuição de frequências da altura significativa das ondas e os correspondentes parâmetros da distribuição de Weibull sazonais.

Tabela 21 – Rosa de direcção das ondas, distribuição de frequências da altura significativa e parâmetros da distribuição de Weibull sazonais, após aplicação do factor correctivo, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 2.

Estação do ano	Rosa de Ventos	Distribuição de frequência da altura significativa da onda
Primavera		
Verão		
Outono		
Inverno		

Na figura 29 estão representadas as rosas de direcção do vento e das ondas do mar e na figura 30 o gráfico de dispersão entre a velocidade simulada aos 10 metros de altura e a altura significativa, após aplicação dos respectivos factores correctivos, para o período entre os dias 03.01.2000 e 03.01.2009.

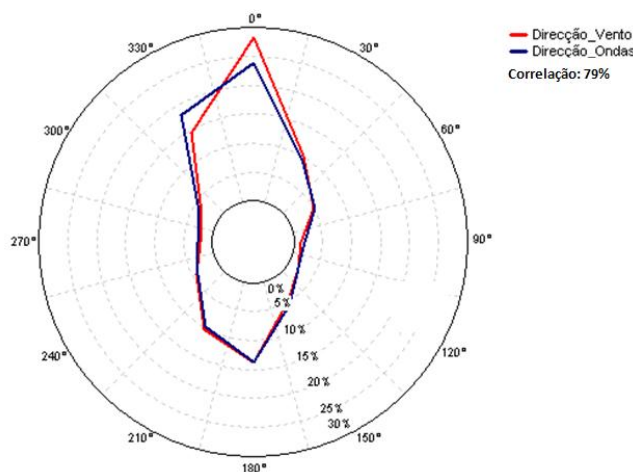


Figura 29 – Rosa de direcção de vento e das ondas do mar para o período entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 2.

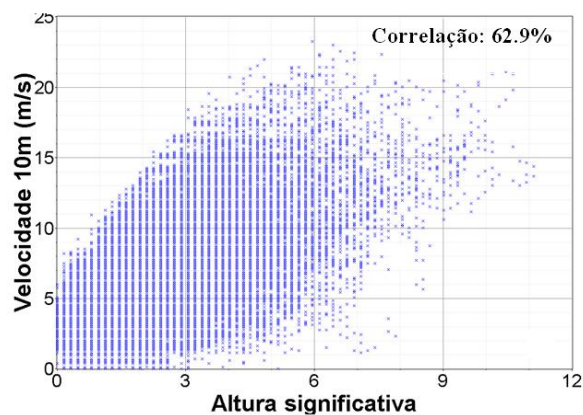


Figura 30 – Gráfico de dispersão dos dados, após aplicação do factor correctivo, simulados para a velocidade do vento a 10 metros de altura e altura significativa das ondas do mar, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 2.

4.1.3 Zona 3

Na tabela 22 são apresentados os parâmetros estatísticos do vento e do mar da Zona 3. São exibidos os valores médios, máximos e mínimos das variáveis: altura significativa da onda (H_s) da onda e velocidades do vento a 10 e 100 metros de altura.

Tabela 22 – Parâmetros estatísticos, após a aplicação dos factores correctivos, para os dados da velocidade do vento e da altura significativa das ondas do mar para a zona 3, compreendidos nos períodos entre 03.01.2000 a 31.12.2010 e entre 03.01.2000 e 03.01.2009, respectivamente.

	H_s (m)	V10m (m/s)	V100m (m/s)
Média	2.14	7.14	7.67
Máximo	11.2	25.1	28.5
Mínimo	0.00	0.00	0.00

Os gráficos representados na figura 31 apresentam o perfil vertical, diário, mensal e anual do período de dados em análise da velocidade do vento na Zona 3.

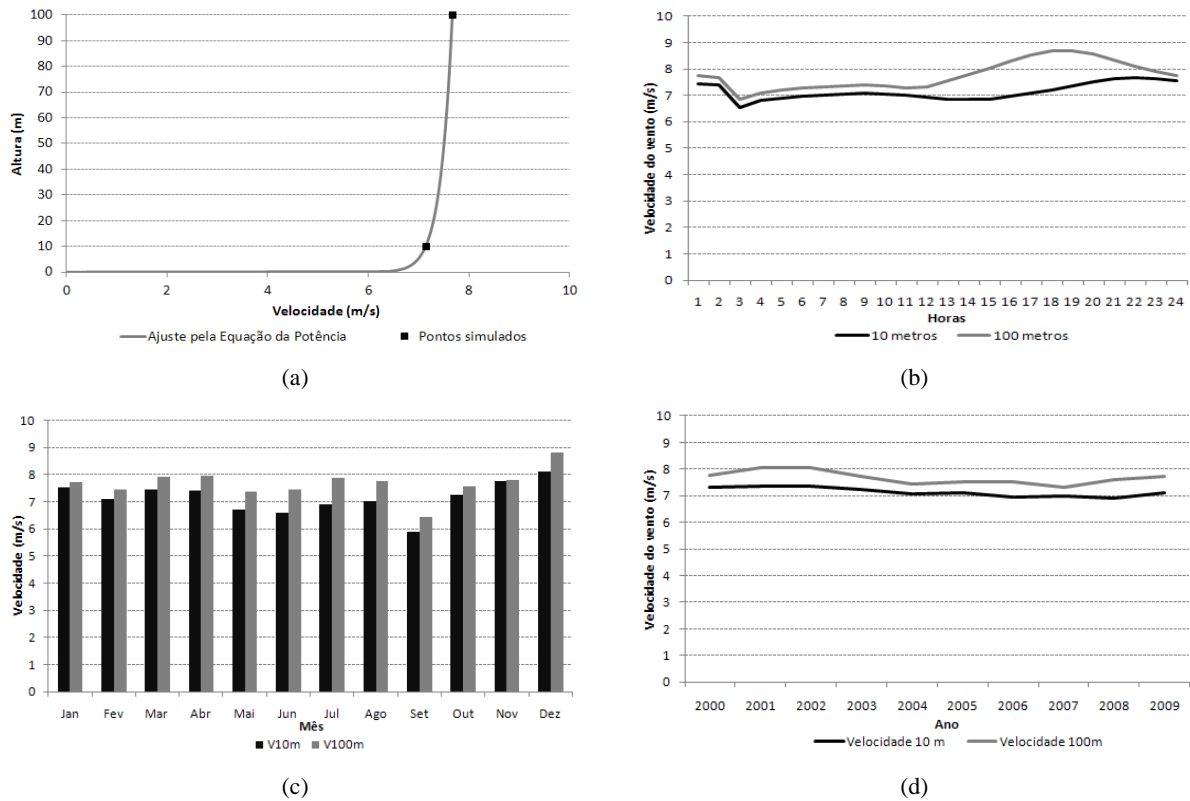


Figura 31 – Caracterização do escoamento atmosférico, após aplicação nos dados dos factores correctivos, da Zona 3 para 10 e 100 metros de altura para o período compreendido entre 03.01.2000 e 31.12.2010 (a) perfil vertical, está representada a curva da equação de potência ajustada às duas alturas simuladas, (b) perfil diário do vento, (c) perfil mensal e (d) anual.

A tabela 23 apresenta a rosa de ventos da Zona 3 e a frequência (em percentagem) de ocorrências em cada sector. Na figura 32 estão representados os histogramas da distribuição de velocidade (por bin de velocidade) e as curvas de ajuste da distribuição de Weibull para as duas alturas de simulação (10 e 100 metros) e na tabela 24 apresentam-se os parâmetros das mesmas. As frequências de ocorrência de velocidade em cada bin de velocidade para os 10 e 100 metros de altura são apresentadas na tabela III.1 do ANEXO.

Tabela 23 – Rosa de Ventos da Zona 3 para o período compreendido entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010.

Rosa direcção do vento	Sector (°)	Frequência (%)
	0	30.9
	30	21.7
	60	4.3
	90	1.4
	120	1.8
	150	2.2
	180	6.2
	210	11.6
	240	6.7
	270	2.9
	300	3.8
	330	6.5

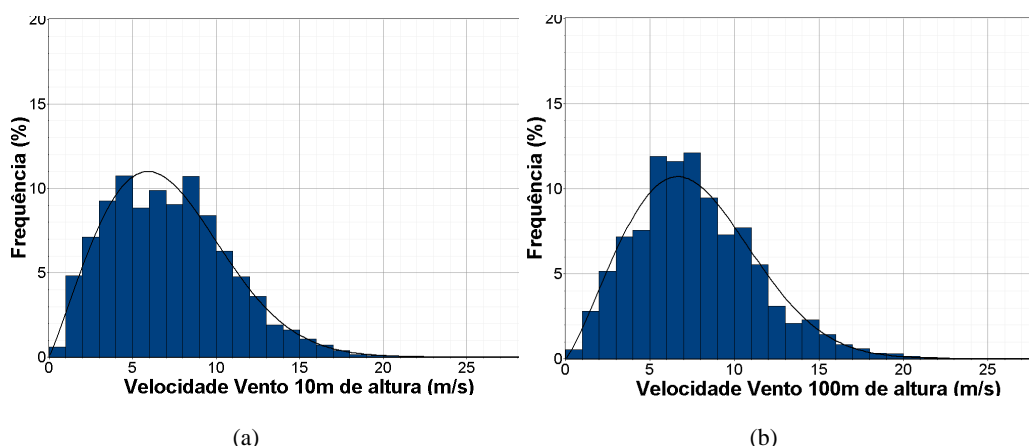


Figura 32 – Histogramas da distribuição de frequências de velocidade, após aplicação nos dados dos factores correctivos, e curvas de ajuste da distribuição de Weibull para (a) 10 e (b) 100 metros de altura (valores globais, todos os sectores), para o período entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010, para a Zona 3.

Tabela 24 – Parâmetros da Weibull para os dados de velocidade do vento aos 10 e 100 metros de altura, no período entre 03.01.2000 e 31.12.2010, para a Zona 3.

Altura de simulação (m)	Parâmetros da Weibull	
	A (m/s)	k
10	8.20	2.19
100	8.80	2.11

Os parâmetros da distribuição de Weibull para as alturas de simulação por sector estão apresentados na tabela III.2 e III.3 do ANEXO. O gráfico representado na figura 33 apresenta a dispersão entre os dados simulados aos 10 e 100 metros de altura, assim como a recta de melhor ajuste.

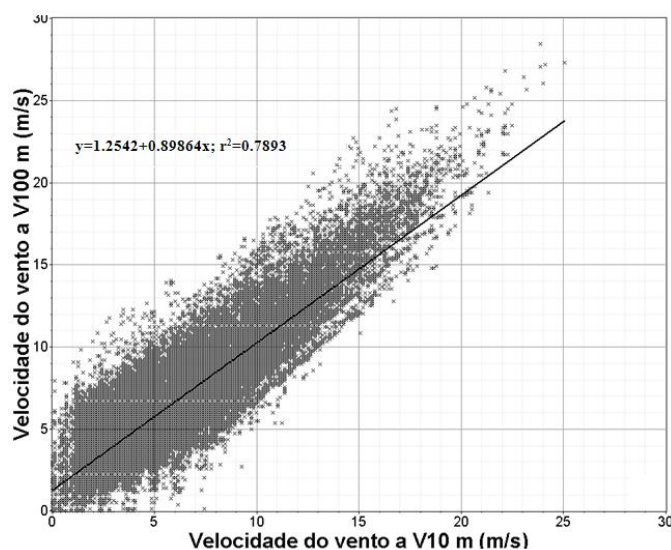


Figura 33 – Gráfico de dispersão dos dados, após aplicação do factor correctivo, simulados para a velocidade do vento a 10 e 100 metros de altura, para a Zona 3 no período entre 03.01.2000 e 31.12.2010.

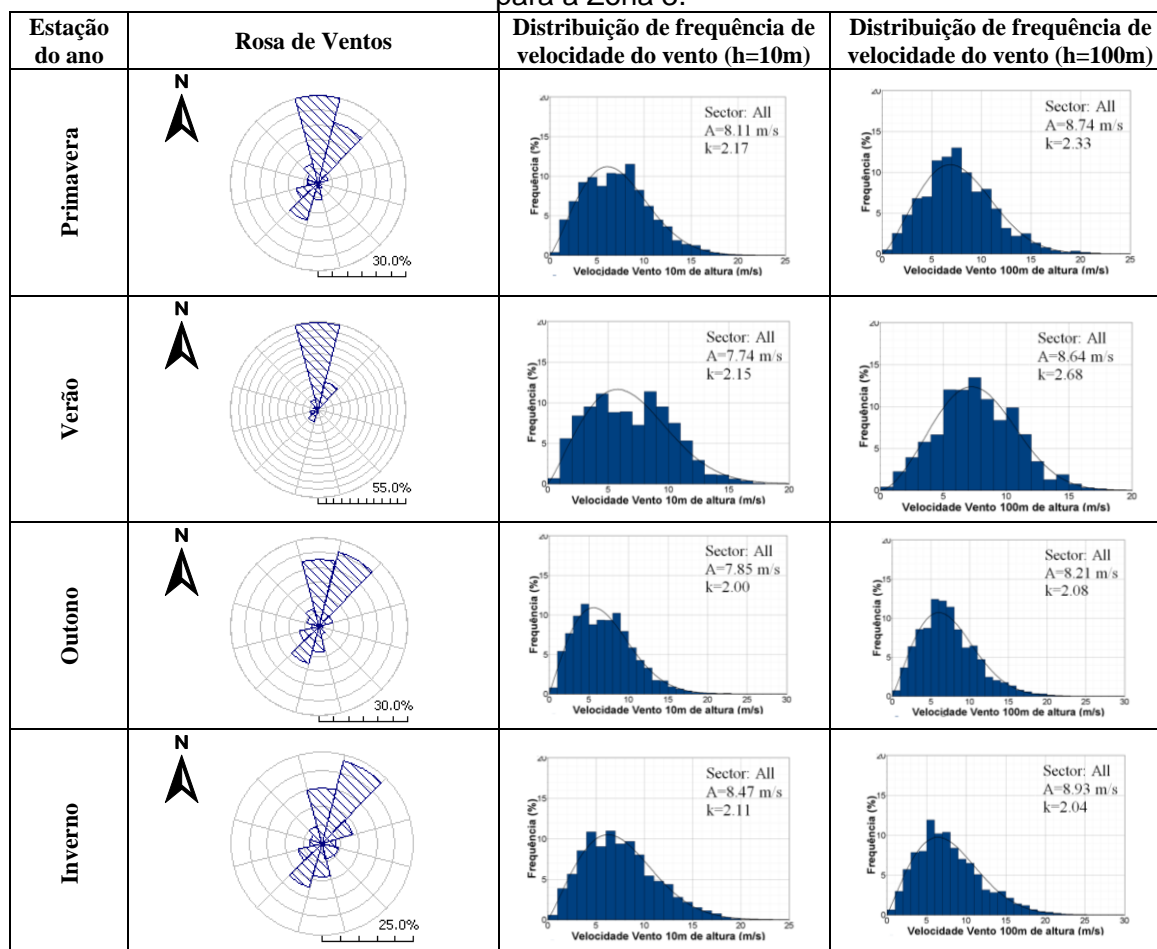
Na tabela 25 são apresentados os parâmetros estatísticos sazonais do vento e do mar para a Zona 3. São exibidos os valores médios, máximos e mínimos sazonais das variáveis: altura significativa da onda da onda (H_s) e velocidades do vento a 10 e 100 metros de altura. Na tabela 26 apresentam-se as rosas de vento, distribuição de frequências de velocidade do vento e parâmetros da distribuição de Weibull (para 10 e 100 metros de altura) sazonais.

Os meses utilizados em cada estação do ano são os mesmos referidos na Zona 1.

Tabela 25 – Parâmetros estatísticos sazonais do vento e do mar para a zona 3, após aplicação dos factores correctivos, para o período simulado entre os dias 03.01.2000 e 03.01.2000 e entre 03.01.2000 03.01.2009, respectivamente.

		Hs (m)	V10m (m/s)	V100m (m/s)
Primavera	Média	2.26	7.18	7.52
	Máximo	9.00	20.9	23.1
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Verão	Média	1.72	6.85	7.68
	Máximo	5.05	17.9	19.3
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Outono	Média	2.20	6.96	7.27
	Máximo	11.2	25.1	27.3
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Inverno	Média	2.35	7.49	7.90
	Máximo	9.95	23.9	28.5
	Mínimo	0.00	0.00	0.00

Tabela 26 – Rosa de ventos, distribuição de frequências de velocidade do vento e parâmetros da distribuição de Weibull (para 10 e 100 metros de altura) sazonais, após aplicação do factor correctivo, para o período de simulação de 03.01.2000 a 31.12.2010, para a Zona 3.



Os gráficos apresentados na figura 34 representam o perfil diário, mensal e anual da ondulação marítima, respectivamente.

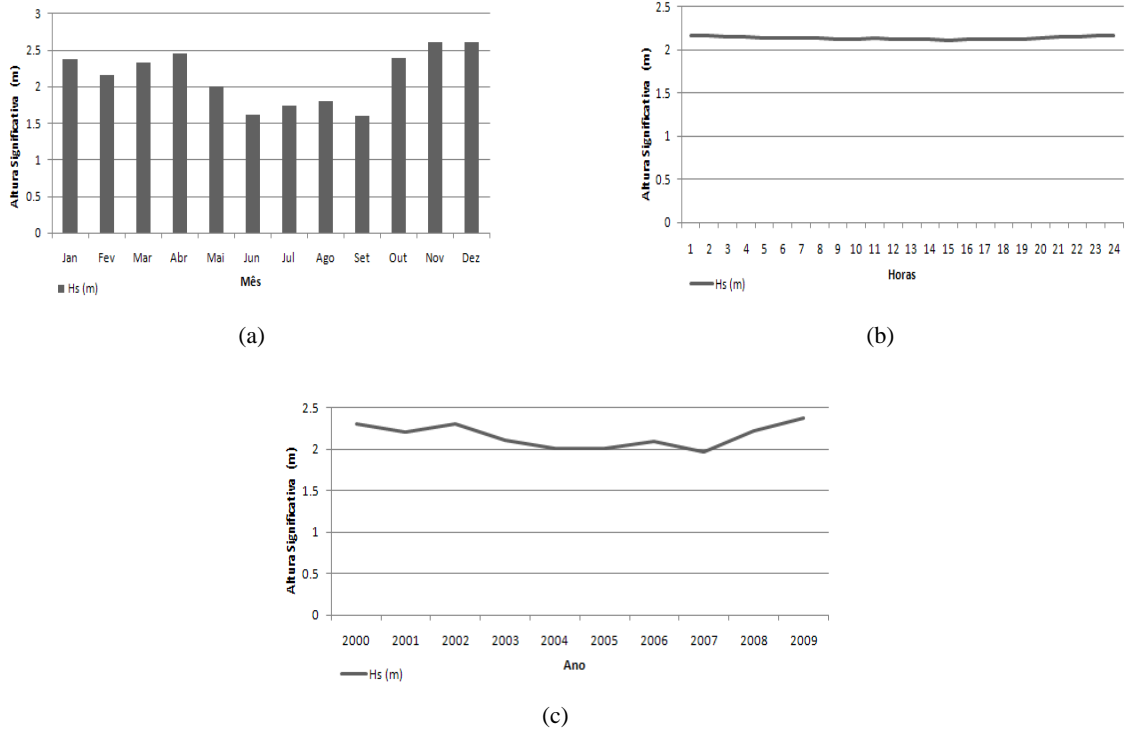
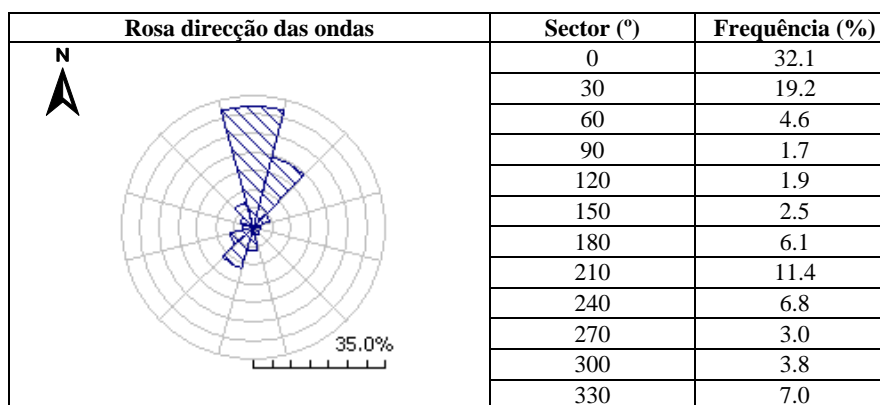


Figura 34 – Caracterização do estado do mar (altura significativa) na Zona 3, após a aplicação do factor correctivo, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2009 (a) perfil mensal, (b) perfil diário e (c) perfil anual.

Na tabela 27 está representada a rosa de direcção das ondas da Zona 3, assim como a frequência de ocorrência em cada sector. Na figura 35 são apresentados os histogramas da distribuição da altura significativa das ondas do mar e as curvas de ajuste da distribuição de Weibull e na tabela 28 os parâmetros das mesmas. Os parâmetros de Weibull para a altura significativa das ondas por sector estão apresentados na tabela III.4 do ANEXO.

Tabela 27 – Rosa de direcção das ondas da Zona 3, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2009.



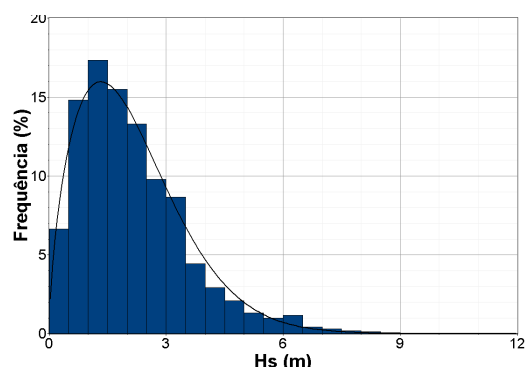


Figura 35 – Histograma da distribuição de frequência da altura significativa das ondas, após aplicação do factor correctivo, e curva de ajuste da distribuição de Weibull (valores globais, todos os sectores), para o período entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 3.

Tabela 28 – Parâmetros da Weibull para a altura significativa das ondas do mar para o período entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 3.

Variável	Parâmetros da Weibull	
	A	K
Altura significativa das ondas	2.40 (m)	1.62

Na tabela 29 apresentam-se as rosas de direcção das ondas do mar, distribuição de frequências da altura significativa das ondas e os correspondentes parâmetros da distribuição de Weibull sazonais.

Tabela 29 – Rosa de direcção das ondas, distribuição de frequências da altura significativa e parâmetros da distribuição de Weibull sazonais, após aplicação do factor correctivo, para o período compreendido entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 3.

Estação do ano	Rosa de Ventos	Distribuição de frequência da altura significativa da onda
Primavera		
Verão		
Outono		
Inverno		

Na figura 36 estão representadas as rosas de direcção do vento e das ondas do mar e na figura 37 os gráficos de dispersão entre a velocidade simulada aos 10 metros de altura e a altura significativa das ondas.

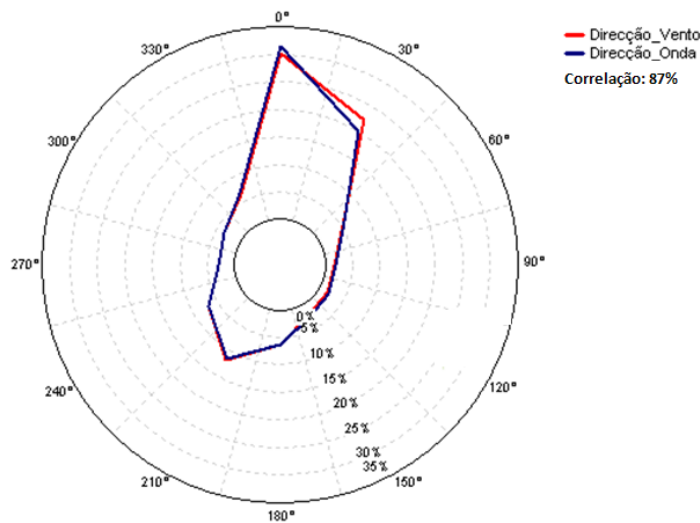


Figura 36 – Rosa de direcção de vento e das ondas do mar para o período entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 3.

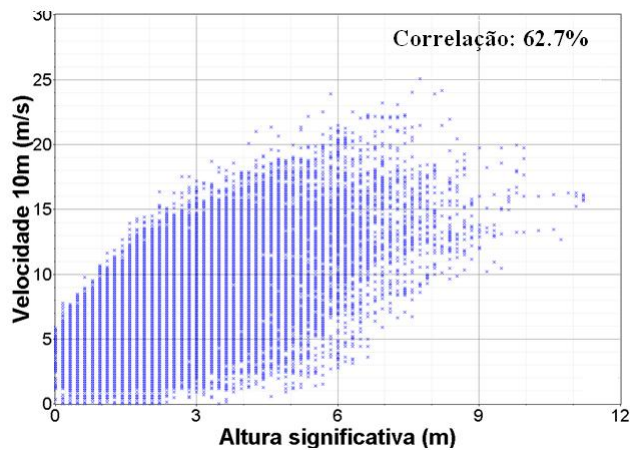


Figura 37 – Gráfico de dispersão dos dados, após aplicação do factor correctivo, simulados para a velocidade do vento a 10 metros de altura e da altura significativa das ondas do mar, para o período entre 03.01.2000 e 03.01.2009, para a Zona 3.

4.2 Fenómenos Extremos

Seguidamente são apresentados os gráficos resultantes do estudo dos valores extremos, nomeadamente probabilidades de excedência, probabilidades acumuladas e os períodos de retorno.

4.2.1 Zona 1

Nas figuras 38, 39 e 40 são apresentados os gráficos referentes às probabilidades acumulada e de excedência extremas do vento aos 10 e 100 metros de altura e da altura significativa das ondas do mar para o caso da Zona 1 e na tabela 30 os parâmetros da distribuição de Gumbel, onde μ representa o parâmetro de escala, β o de locação e r^2 o ajuste dos dados à função de distribuição de Gumbel, sendo que valores próximos de 1 representam bons ajustes.

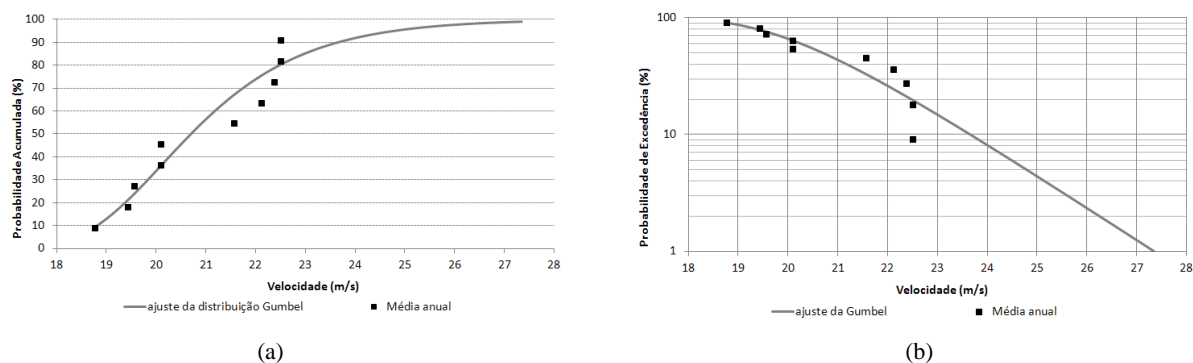


Figura 38 – Gráficos de probabilidade (a) acumulada e (b) de excedência para os valores extremos da velocidade do vento aos 10 metros, para a Zona 1, para o período de dados entre 03.01.2000 e 31.12.2010 com aplicação do factor correctivo.

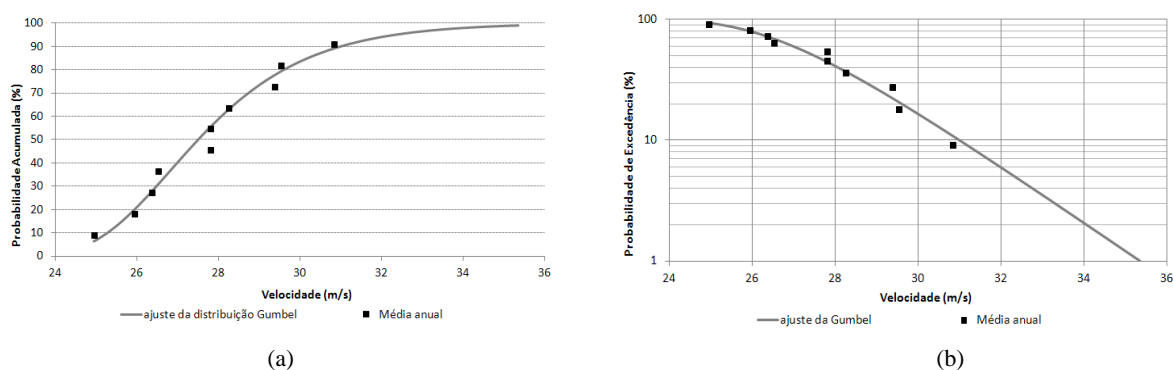


Figura 39 – Gráficos de probabilidade (a) acumulada e (b) de excedência para os valores extremos da velocidade do vento aos 100 metros, para a Zona 1, para o período de dados entre 03.01.2000 e 31.12.2010 com aplicação do factor correctivo.

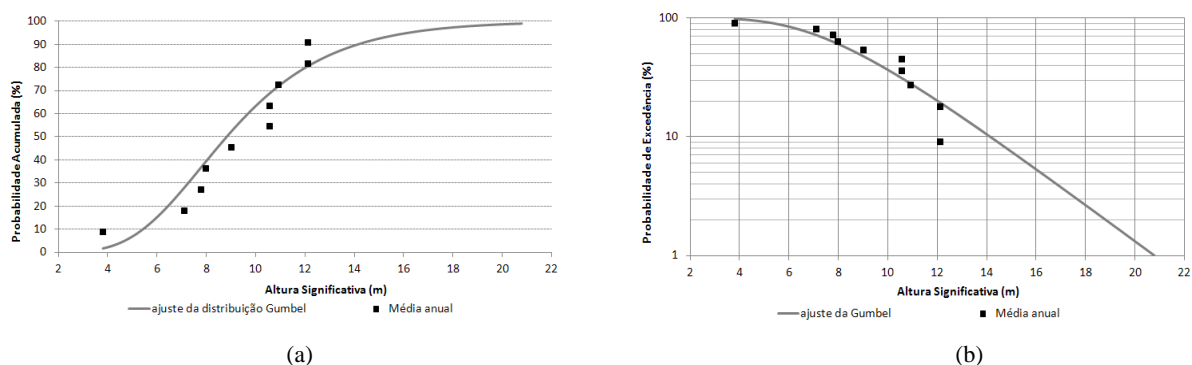


Figura 40 – Gráficos de probabilidade (a) acumulada e (b) de excedência para os valores extremos da altura significativa das ondas do mar, para a Zona 1, para o período de dados entre 03.01.2000 e 03.01.2009 com aplicação do factor correctivo.

Tabela 30 – Parâmetros da distribuição de Gumbel para a velocidade do vento aos 10 e 100 metros de altura e da altura significativa das ondas, para o período de dados entre 03.01.2000 e 31.12.2010 e entre 03.01.2000 e 31.12.2010, respectivamente e com aplicação do factor correctivo, para a Zona 1.

Variável	Parâmetros da distribuição de Gumbel		
	β	μ	r^2
Velocidade do vento aos 10m de altura	1.57 (m/s)	20.1 (m/s)	0.860
Velocidade do vento aos 100m de altura	1.85 (m/s)	26.8 (m/s)	0.972
Altura significativa das ondas	2.82 (m)	7.79 (m)	0.842

A figura 41 apresenta os resultados obtidos para os períodos de retorno da velocidade do vento aos 10 e 100 metros de altura e da altura significativa das ondas do mar.

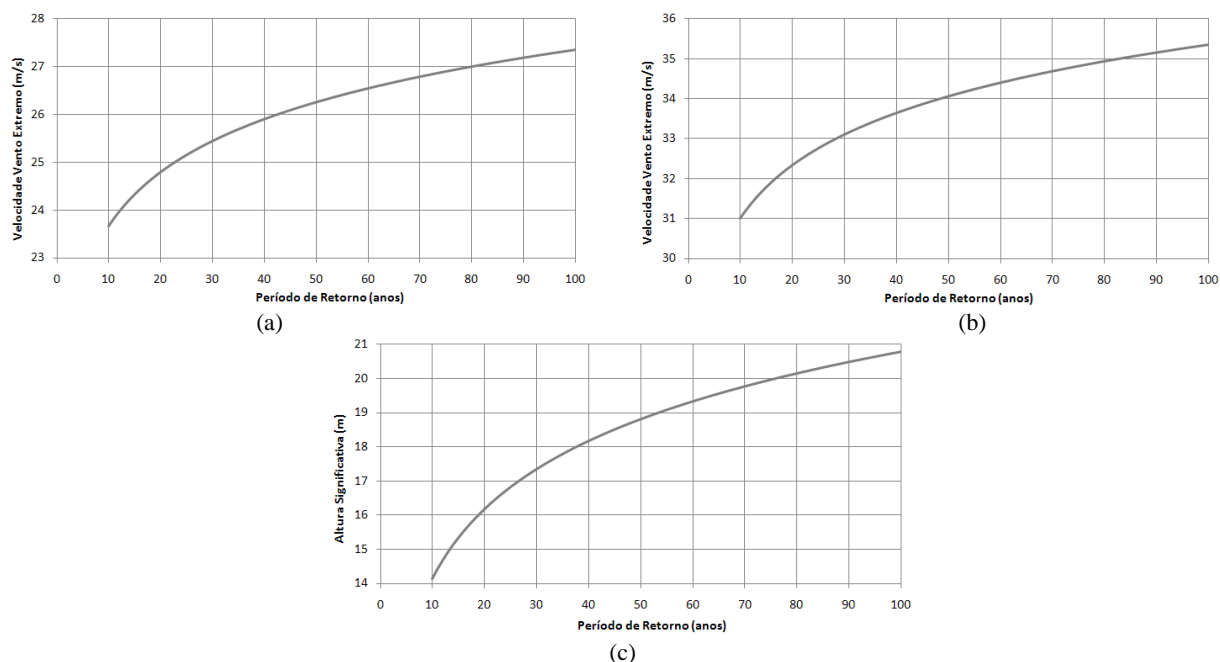


Figura 41 – Gráficos representativo do período de retorno para a velocidade do vento a (a) 10 metros, (b) 100 metros de altura e (c) altura significativa das ondas dos mar, para a Zona 1, com base nos dados corrigidos e compreendidos entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010 para o caso do vento e entre 03.01.2000 e 03.01.2009 para a altura significativa das ondas do mar.

4.2.2 Zona 2

Nas figuras 42, 43 e 44 são apresentados os gráficos referentes às probabilidades acumulada e de excedência extremas do vento aos 10 e 100 metros de altura e da altura significativa das ondas do mar para o caso da Zona 2 e na tabela 31 os parâmetros da distribuição de Gumbel.

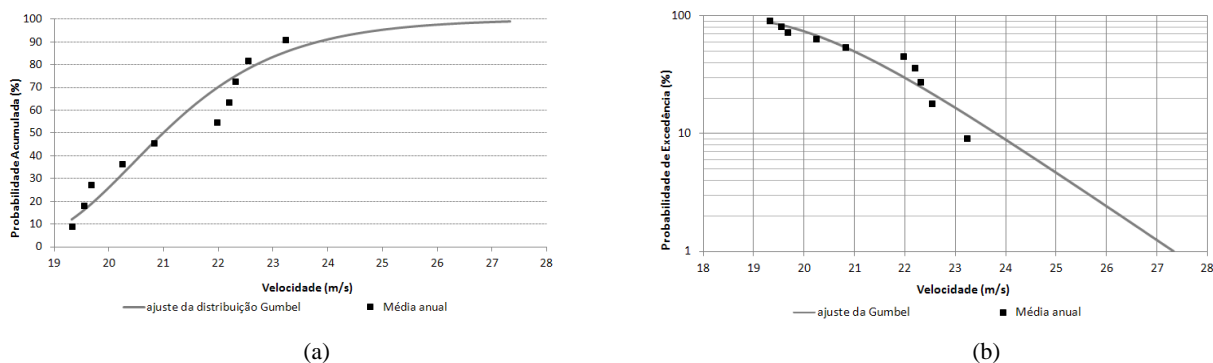


Figura 42 – Gráficos de probabilidade (a) acumulada e (b) de excedência para os valores extremos da velocidade do vento aos 10 metros, para a Zona 2, para o período de dados entre 03.01.2000 e 31.12.2010 com aplicação do factor correctivo.

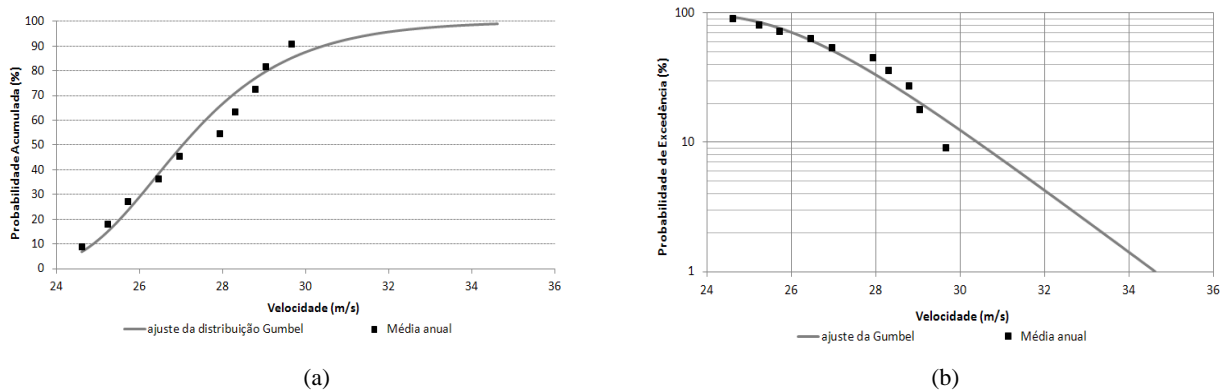


Figura 43 – Gráficos de probabilidade (a) acumulada e (b) de excedência para os valores extremos da velocidade do vento aos 100 metros, para a Zona 2, para o período de dados entre 03.01.2000 e 31.12.2010 com aplicação do factor correctivo.

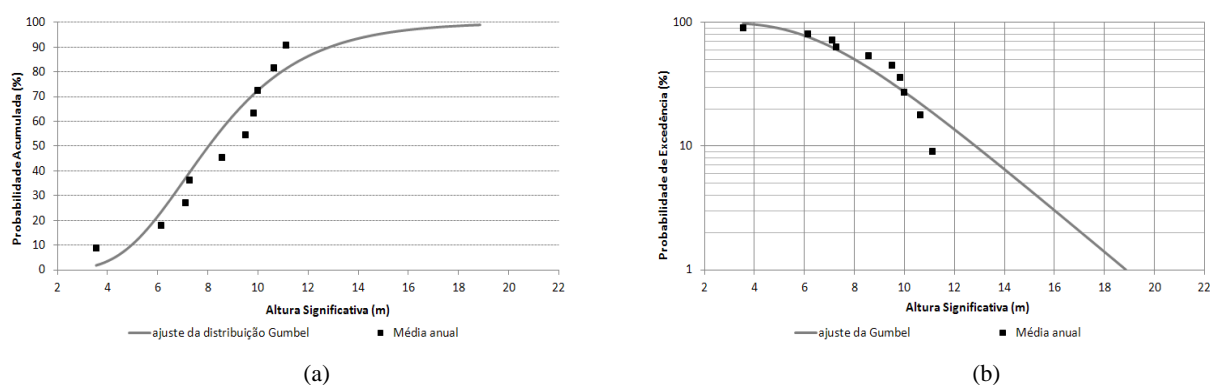


Figura 44 – Gráficos de probabilidade (a) acumulada e (b) de excedência para os valores extremos da altura significativa das ondas do mar, para a Zona 2, para o período de dados entre 03.01.2000 e 03.1.2009 com aplicação do factor correctivo.

Tabela 31 – Parâmetros da distribuição de Gumbel para a velocidade do vento aos 10 e 100 metros de altura e da altura significativa das ondas, para o período de dados entre 03.01.2000 e 31.12.2010 e entre 03.01.2000 e 31.12.2010, respectivamente e com aplicação do factor correctivo, para a Zona 2.

Variável	Parâmetros da distribuição de Gumbel		
	β	μ	r^2
Velocidade do vento aos 10m de altura	1.50 (m/s)	20.4 (m/s)	0.900
Velocidade do vento aos 100m de altura	1.90 (m/s)	26.4 (m/s)	0.936
Altura significativa das ondas	2.56 (m)	7.09 (m)	0.846

A figura 45 apresenta os resultados obtidos para os períodos de retorno da velocidade do vento aos 10 e 100 metros de altura e da altura significativa das ondas do mar.

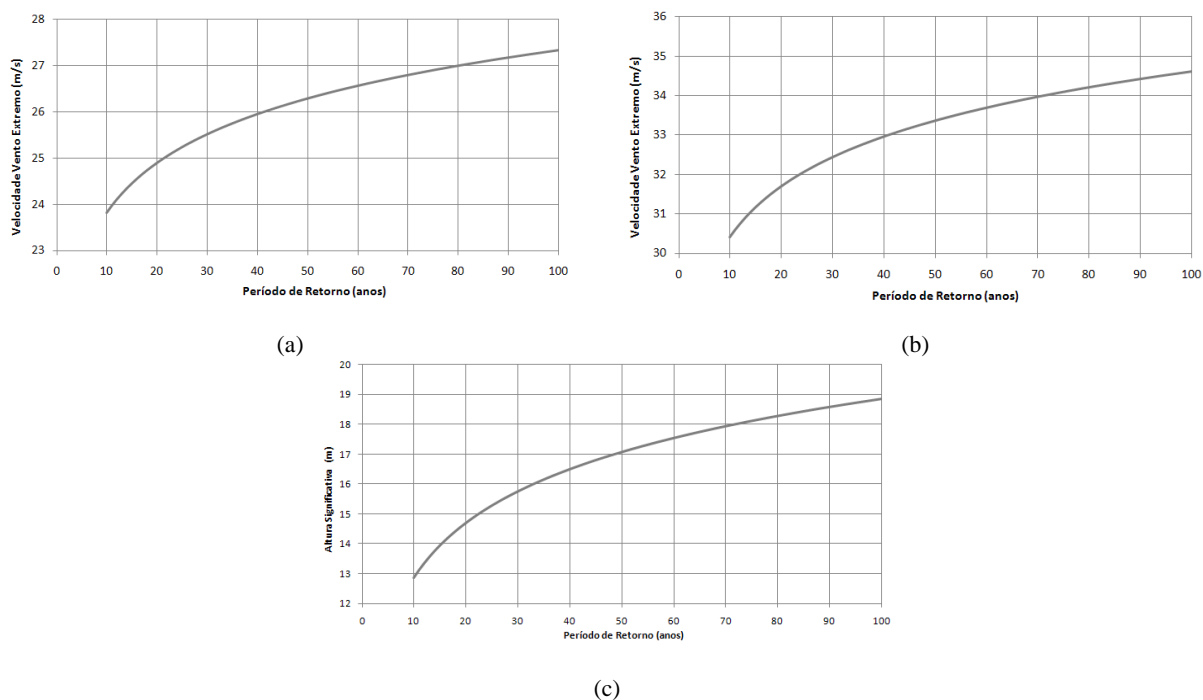


Figura 45 – Gráficos representativo do período de retorno para a velocidade do vento a (a) 10 metros, (b) 100 metros de altura e (c) altura significativa das ondas dos mar, para a Zona 2, com base nos dados corrigidos e compreendidos entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010 para o caso do vento e entre 03.01.2000 e 03.01.2009 para a altura significativa das ondas do mar.

4.2.3 Zona 3

Nas figuras 46, 47 e 48 são apresentados os gráficos referentes às probabilidades acumulada e de excedência extremas do vento aos 10 e 100 metros de altura e da altura significativa das ondas do mar para a Zona 3 e na tabela 32 os parâmetros da distribuição de Gumbel.

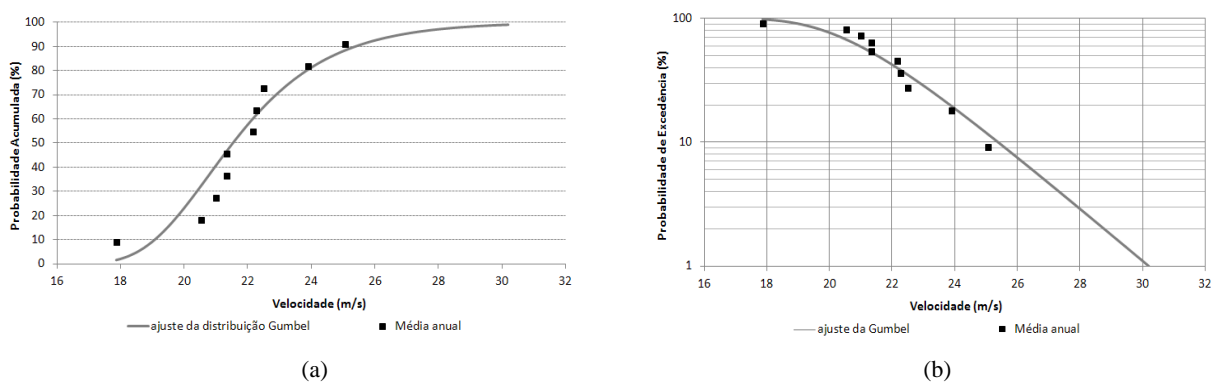


Figura 46 – Gráficos de probabilidade (a) acumulada e (b) de excedência para os valores extremos da velocidade do vento aos 10 metros, para a Zona 3, para o período de dados entre 03.01.2000 e 31.12.2010 com aplicação do factor correctivo.

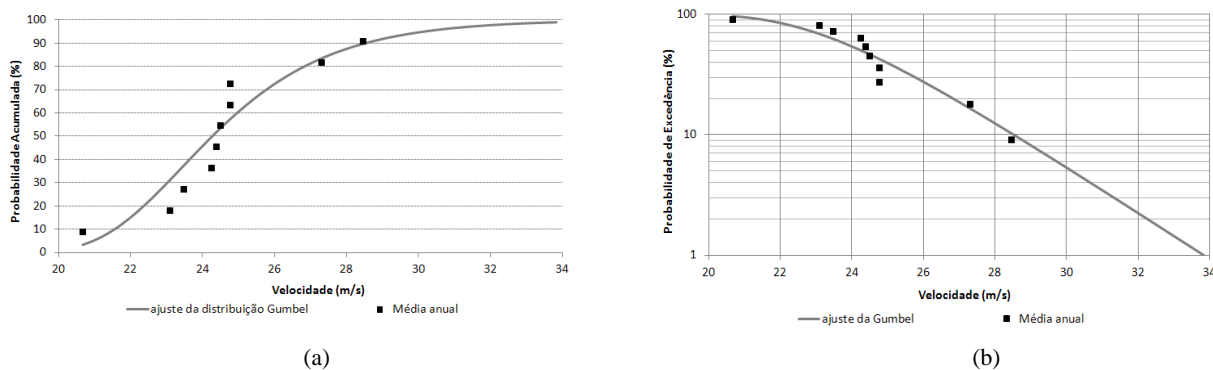


Figura 47 – Gráficos de probabilidade (a) acumulada e (b) de excedência para os valores extremos da velocidade do vento aos 100 metros, para a Zona 3, para o período de dados entre 03.01.2000 e 31.12.2010 com aplicação do factor correctivo.

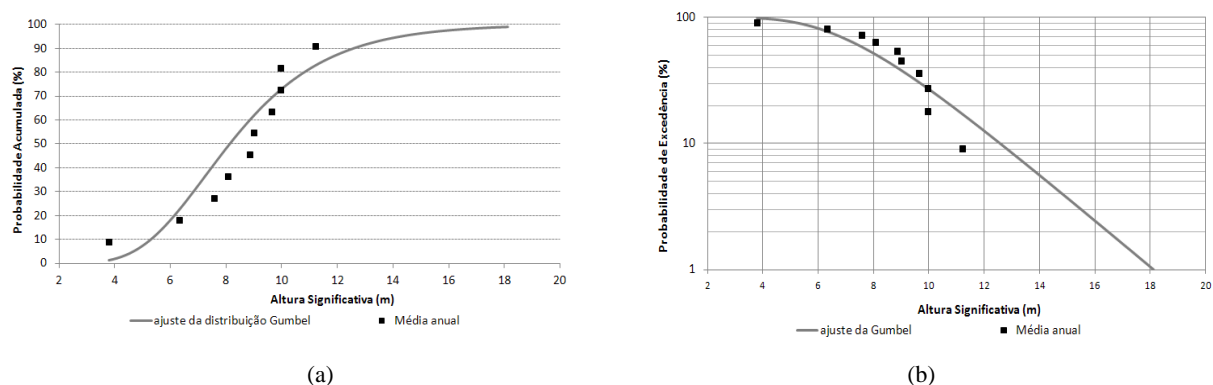


Figura 48 – Gráficos de probabilidade (a) acumulada e (b) de excedência para os valores extremos da altura significativa das ondas do mar, para a Zona 3, para o período de dados entre 03.01.2000 e 03.01.2009 com aplicação do factor correctivo.

Tabela 32 – Parâmetros da distribuição de Gumbel para a velocidade do vento aos 10 e 100 metros de altura e da altura significativa das ondas, para o período de dados entre 03.01.2000 e 31.12.2010 e entre 03.01.2000 e 31.12.2010, respectivamente e com aplicação do factor correctivo, para a Zona 3.

Variável	Parâmetros da distribuição de Gumbel		
	β	μ	r^2
Velocidade do vento aos 10m de altura	2.05 (m/s)	20.8 (m/s)	0.901
Velocidade do vento aos 100m de altura	2.26 (m/s)	23.4 (m/s)	0.900
Altura significativa das ondas	2.36 (m)	7.27 (m)	0.821

A figura 49 apresenta os resultados obtidos para os períodos de retorno da velocidade do vento aos 10 e 100 metros de altura e da altura significativa das ondas do mar.

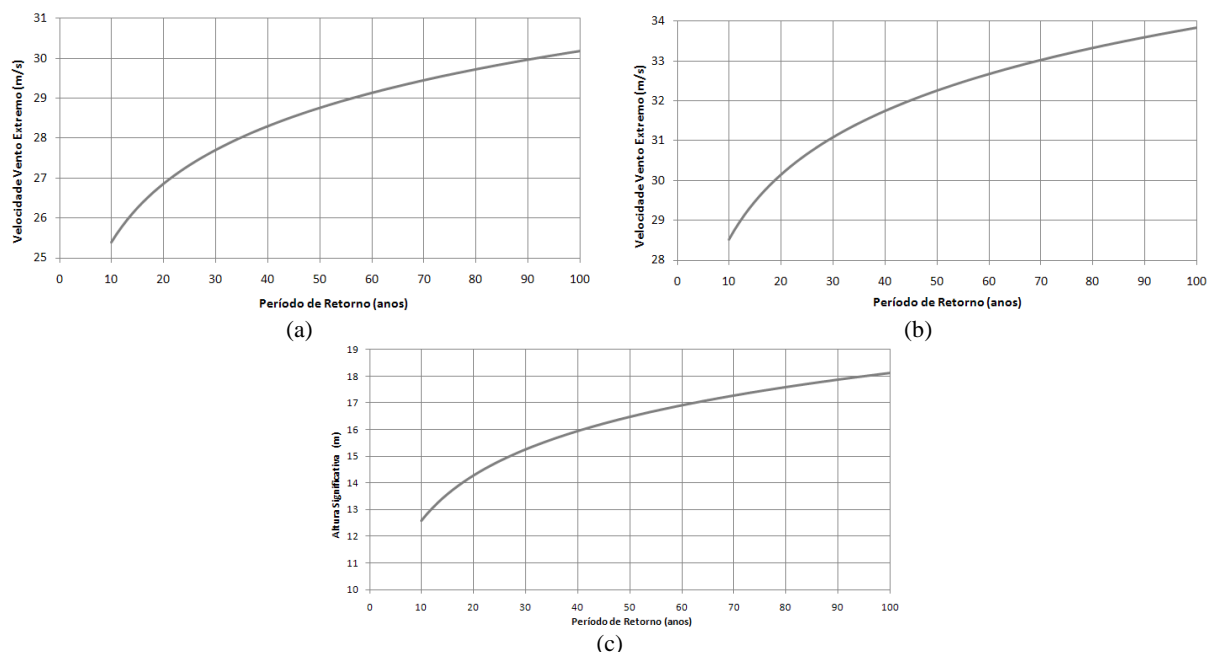


Figura 49 – Gráficos representativo do período de retorno para a velocidade do vento a (a) 10 metros, (b) 100 metros de altura e (c) altura significativa das ondas dos mar, para a Zona 3, com base nos dados corrigidos e compreendidos entre os dias 03.01.2000 e 31.12.2010 para o caso do vento e entre 03.01.2000 e 03.01.2009 para a altura significativa das ondas do mar.

4.3 Janelas de Oportunidade

4.3.1 Zona 1

Seguidamente são apresentadas na tabela 33 as disponibilidades de acesso na Zona 1, tendo como condicionantes a altura significativa das ondas do mar e a velocidade do vento. São apresentados os resultados para toda a série de dados e sazonalmente. Uma vez que o verão é o período que apresenta maior percentagem de acessibilidade, são apresentados na tabela 34 as disponibilidades de acesso para os três meses de verão. Na figura 50 representa-se a acessibilidade em função do período sazonal. Na tabela 35 apresentam-se os parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade da Zona1.

Tabela 33 – Disponibilidade de acesso, tendo como condicionante a altura significativa das ondas do mar e a velocidade do vento.

Sistema de Acesso	Condicionante		Acessibilidade (%)				
	$H_{s_{m\acute{a}x}}$ (m)	$V_{m\acute{a}x}$ (m/s)	Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Barco de borracha	1.5	10.0	46.1	40.8	59.8	44.7	38.9
Barco com OAS	2.5	12.0	76.7	68.8	91.2	69.2	60.8
Helicóptero	-	20.0	98.5	98.8	99.9	98.1	97.3

Tabela 34 – Disponibilidade de acesso, tendo como condicionante a altura significativa das ondas do mar e a velocidade do vento para o período de verão.

Sistema de Acesso	Condicionante		Acessibilidade (%)		
	$H_{s_{m\acute{a}x}}$ (m)	$V_{m\acute{a}x}$ (m/s)	Junho	Julho	Agosto
Barco de borracha	1.5	10.0	63.2	55.5	60.9
Barco com OAS	2.5	12.0	92.8	91.9	89.1
Helicóptero	-	20.0	100	99.9	99.9

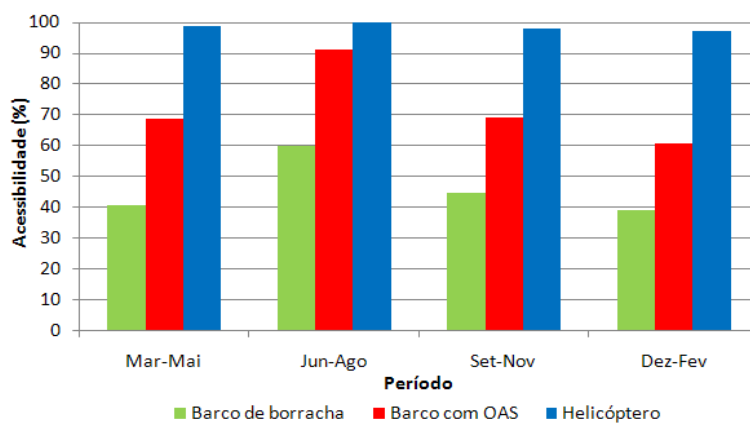


Figura 50 – Gráficos representativo da percentagem de acessibilidade ao longo do ano para os diferentes sistemas de acesso, para a Zona 1.

Tabela 35 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade.

Sistema de acesso	Duração das janelas de oportunidade	
	Horas	Dias
Barco de borracha	Média	47
	Máximo	570
	Mínimo	1
Barco com OAS	Média	117
	Máximo	968
	Mínimo	1
Helicóptero	Média	454
	Máximo	4710
	Mínimo	1

Seguidamente são apresentados os gráficos representativos das probabilidades acumuladas e de excedência de acessibilidade para a Zona 1, para os diferentes sistemas de acesso.

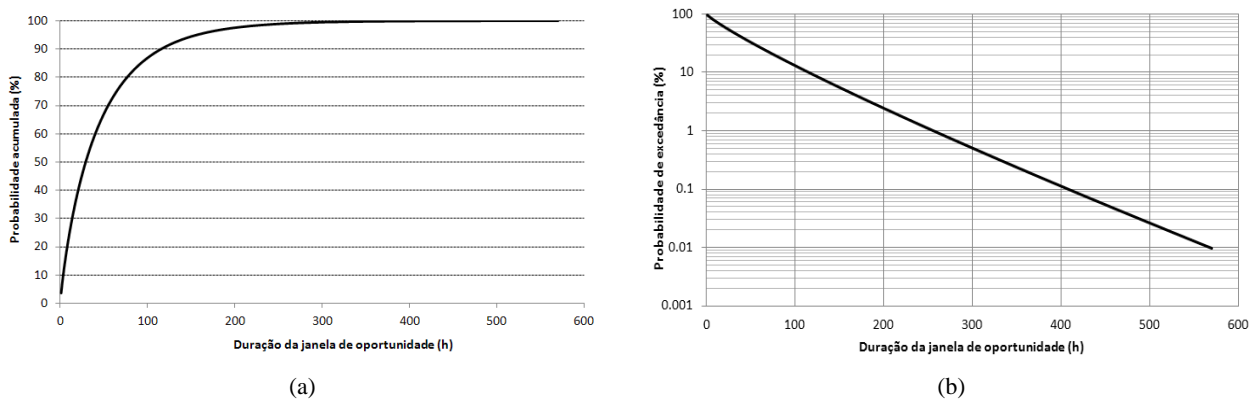


Figura 51 – Gráficos representativo da probabilidade (a) acumulada e de (b) excedência da acessibilidade utilizando como meio de acesso um barco de borracha simples, para a Zona 1.

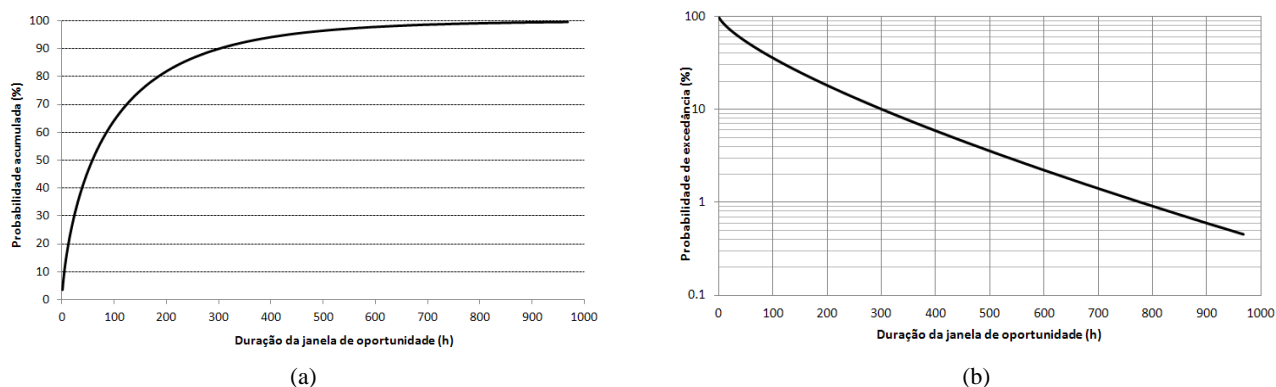


Figura 52 – Gráficos representativo da probabilidade (a) acumulada e de (b) excedência da acessibilidade utilizando como meio de acesso um barco com sistema OAS, para a Zona 1.

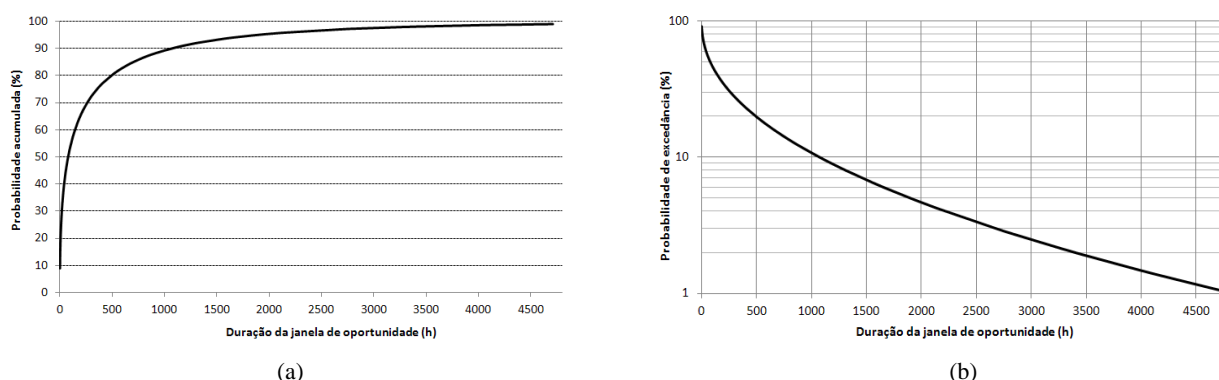


Figura 53 – Gráficos representativo da probabilidade (a) acumulada e de (b) excedência da acessibilidade utilizando como meio de acesso o helicóptero, para a Zona 1.

Seguidamente são apresentadas as probabilidades de realização de várias tarefas. A tabela 36 apresenta as probabilidades tendo como condicionante a velocidade do vento a 10 e 100 metros de altura e a altura significativa correspondente à máxima permitida utilizando como meio de acesso um barco de borracha. Para as tabelas 37 e 38 os meios de acesso utilizados foram o barco com sistema de OAS e o helicóptero, respectivamente. Também aqui se optou por apresentar os resultados referentes à série completa e para estação do ano.

Nas tabelas 39, 40 e 41 são apresentados os parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade para cada tarefa para os diferentes meios de acesso.

Tabela 36 – Disponibilidade de realização de várias tarefas, utilizando como meio de acesso um barco de borracha, para a Zona 1.

Tarefa	Condicionante		Altura (m)	Probabilidade de realizar a tarefa (%)				
	$V_{m\acute{a}x}$ (m/s)	$H_{s_{m\acute{a}x}}$ (m)		Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Subir o mastro	5.0	1.5	10	30.8	26.5	37.2	32.3	27.1
			100	18.6	17.2	23.2	19.5	14.4
Inspeção da torre e pás	7.0		10	42.0	37.1	53.5	41.7	35.4
			100	29.9	26.7	37.4	30.8	24.5
Subir ao rotor	12.0		10	44.5	41.1	60.2	45.1	39.2
			100	45.5	40.2	59.3	44.0	38.0
Trabalhar dentro da nacelle	17.0		10	46.5	42.1	61.2	45.9	39.5
			100	46.2	41.8	60.5	45.5	39.3

Tabela 37 – Disponibilidade de realização de várias tarefas, utilizando como meio de acesso um barco equipado com OAS, para a Zona 1.

Tarefa	Condicionante		Altura (m)	Probabilidade de realizar a tarefa (%)				
	V _{máx} (m/s)	H _{s,máx} (m)		Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Subir o mastro	5.0	2.5	10	40.9	37.0	46.6	43.0	36.7
			100	24.2	22.9	28.8	25.2	19.9
Inspeção da torre e pás	7.0		10	59.6	55.8	76.6	58.9	50.8
			100	39.8	36.9	47.8	40.8	33.4
Subir ao rotor	12.0		10	72.7	68.8	91.2	69.2	60.8
			100	68.6	65.2	86.3	65.5	56.8
Trabalhar dentro da nacelle	17.0		10	73.2	69.2	91.7	69.9	61.5
			100	72.9	69.0	91.6	69.4	60.9

Tabela 38 – Disponibilidade de realização de várias tarefas, utilizando como meio de acesso um helicóptero, para a Zona 1.

Tarefa	Condicionante		Altura (m)	Probabilidade de realizar a tarefa (%)				
	V _{máx} (m/s)	H _{s,máx} (m)		Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Subir o mastro	5.0	-	10	46.6	43.9	48.7	50.3	43.6
			100	27.2	26.3	29.8	28.9	23.6
Inspeção da torre e pás	7.0		10	70.8	69.4	76.8	71.9	65.1
			100	48.9	43.9	50.4	48.4	40.8
Subir ao rotor	12.0		10	94.6	94.9	98.8	94.1	90.3
			100	85.4	85.1	92.3	85.1	78.5
Trabalhar dentro da nacelle	17.0		10	99.5	99.7	100	99.2	98.9
			100	96.4	97.1	99.6	95.8	92.9

Tabela 39 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade, utilizando como meio de acesso um barco de borracha, para a Zona 1.

Tarefa	Altura (m)	Duração das janelas de oportunidade		
		Horas	Dias	
Subir o mastro	10	Média	14	0
		Máximo	149	6
		Mínimo	1	0
	100	Média	7	0
		Máximo	79	3
		Mínimo	1	0
Inspeção da torre e pás	10	Média	28	1
		Máximo	259	11
		Mínimo	1	0
	100	Média	13	0
		Máximo	136	5
		Mínimo	1	0
Subir ao rotor	10	Média	50	2
		Máximo	270	24
		Mínimo	1	0
	100	Média	43	2
		Máximo	542	23
		Mínimo	1	0
Trabalhar dentro da nacelle	10	Média	51	2
		Máximo	570	24
		Mínimo	1	0
	100	Média	51	2
		Máximo	578	24
		Mínimo	1	0

Tabela 40 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade, utilizando como meio de acesso um barco equipado com OAS, para a Zona 1.

Tarefa	Altura (m)	Duração das janelas de oportunidade		
			Horas	Dias
Subir o mastro	10	Média	16	0
		Máximo	161	7
		Mínimo	1	0
	100	Média	8	0
		Máximo	86	3
		Mínimo	1	0
Inspeção da torre e pás	10	Média	30	1
		Máximo	305	13
		Mínimo	1	0
	100	Média	14	0
		Máximo	148	6
		Mínimo	1	0
Subir ao rotor	10	Média	118	5
		Máximo	968	40
		Mínimo	1	0
	100	Média	56	2
		Máximo	775	32
		Mínimo	1	0
Trabalhar dentro da nacelle	10	Média	134	6
		Máximo	1740	73
		Mínimo	1	0
	100	Média	125	5
		Máximo	1740	73
		Mínimo	1	0

Tabela 41 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade, utilizando como meio de acesso um helicóptero, para a Zona 1.

Tarefa	Altura (m)	Duração das janelas de oportunidade		
			Horas	Dias
Subir o mastro	10	Média	22	0
		Máximo	178	7
		Mínimo	1	0
	100	Média	11	0
		Máximo	98	4
		Mínimo	1	0
Inspeção da torre e pás	10	Média	34	1
		Máximo	360	15
		Mínimo	1	0
	100	Média	16	0
		Máximo	158	6
		Mínimo	1	0
Subir ao rotor	10	Média	147	6
		Máximo	3128	130
		Mínimo	1	0
	100	Média	59	2
		Máximo	1045	44
		Mínimo	1	0
Trabalhar dentro da nacelle	10	Média	867	36
		Máximo	7716	321
		Mínimo	1	0
	100	Média	226	9
		Máximo	3735	156
		Mínimo	1	0

4.3.2 Zona 2

Seguidamente são apresentadas na tabela 42 as disponibilidades de acesso na Zona 2, tendo como condicionantes a altura significativa das ondas do mar e a velocidade do vento. São apresentados os resultados para toda a série de dados e sazonalmente. Uma vez que o verão é o período que apresenta maior percentagem de acessibilidade, são apresentados na tabela 43 as disponibilidades de acesso para os três meses de verão. Na figura 54 representa-se a acessibilidade em função do período sazonal. Na tabela 44 apresentam-se os parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade da zona 2.

Tabela 42 – Disponibilidade de acesso, tendo como condicionante a altura significativa das ondas do mar e a velocidade do vento.

Sistema de Acesso	Condicionante		Acessibilidade (%)				
	H _s _{máx} (m)	V _{máx} (m/s)	Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Barco de borracha	1.5	10.0	45.1	40.2	53.5	45.9	39.4
Barco com OAS	2.5	12.0	72.1	67.2	86.8	70.5	61.7
Helicóptero	-	20.0	98.8	98.6	99.9	98.6	97.3

Tabela 43 – Disponibilidade de acesso, tendo como condicionante a altura significativa das ondas do mar e a velocidade do vento, para o período de verão.

Sistema de Acesso	Condicionante		Acessibilidade (%)		
	H _s _{máx} (m)	V _{máx} (m/s)	Junho	Julho	Agosto
Barco de borracha	1.5	10.0	58.3	49.8	53.9
Barco com OAS	2.5	12.0	88.3	86.4	84.8
Helicóptero	-	20.0	99.9	99.9	99.8

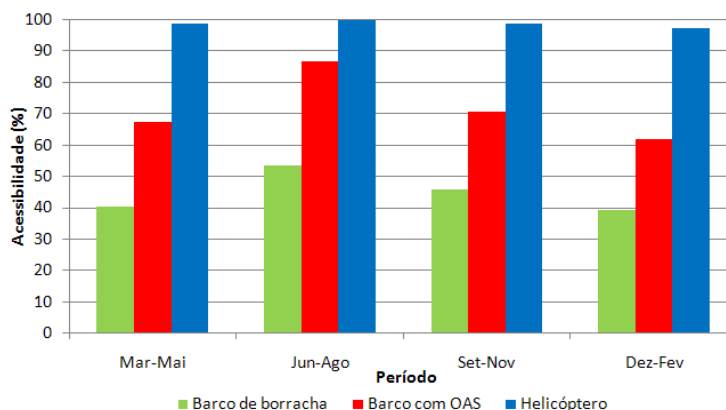


Figura 54 – Gráficos representativo da percentagem de acessibilidade ao longo do ano para os diferentes sistemas de acesso, para a Zona 2.

Tabela 44 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade.

Sistema de acesso	Duração das janelas de oportunidade	
	Horas	Dias
Barco de borracha	Média	49
	Máximo	513
	Mínimo	1
Barco com OAS	Média	97
	Máximo	1047
	Mínimo	1
Helicóptero	Média	467
	Máximo	4579
	Mínimo	1

Seguidamente são apresentados os gráficos representativos das probabilidades acumuladas e de excedência da acessibilidade para a Zona 2, para os diferentes sistemas de acesso.

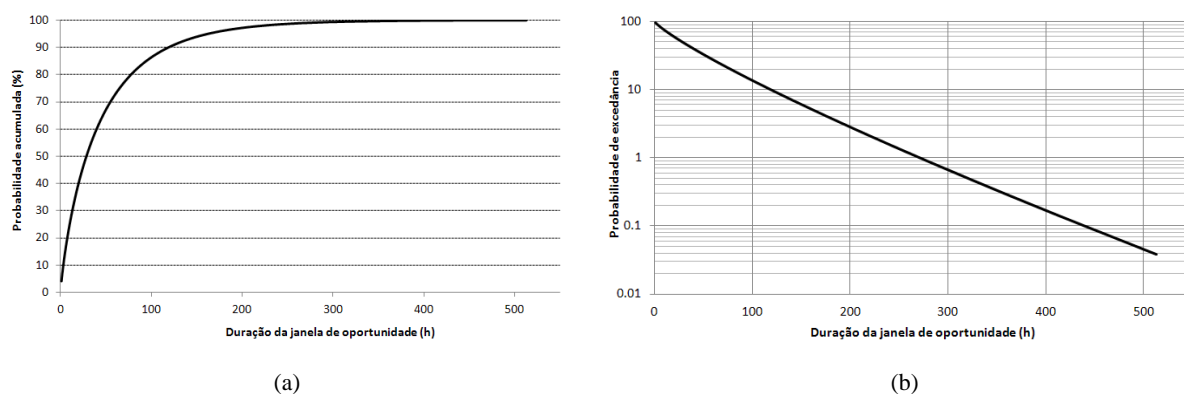


Figura 55 – Gráficos representativo da probabilidade (a) acumulada e de (b) excedência da acessibilidade utilizando como meio de acesso um barco de borracha simples, para a Zona 2.

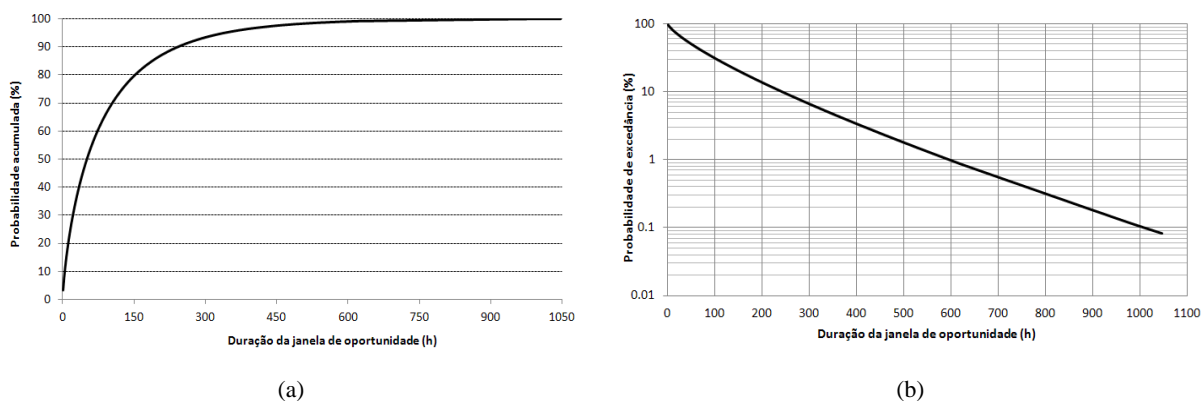


Figura 56 – Gráficos representativo da probabilidade (a) acumulada e de (b) excedência da acessibilidade utilizando como meio de acesso um barco equipado com OAS, para a Zona 2.

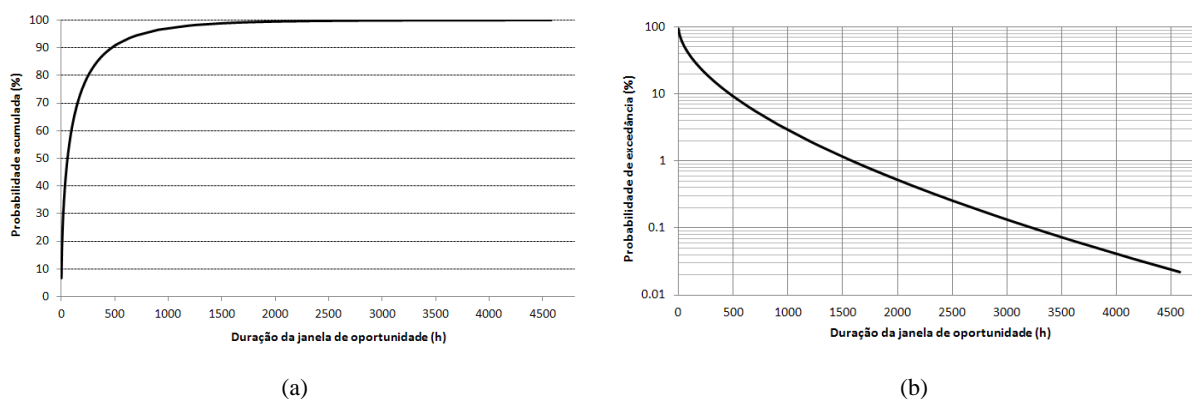


Figura 57 – Gráficos representativo da probabilidade (a) acumulada e de (b) excedência da acessibilidade utilizando como meio de acesso um helicóptero, para a Zona 2.

Seguidamente são apresentadas as probabilidades para a realização de várias tarefas. A tabela 45 apresenta as probabilidades tendo como condicionante a velocidade do vento a 10 e 100 metros de altura e a altura significativa correspondente à máxima permitida utilizando como meio de acesso um barco de borracha. Para as tabelas 46 e 47 os meios de acesso utilizados foram o barco com sistema de OAS e o helicóptero, respectivamente. Também aqui optou-se por apresentarem os resultados referentes à série completa e para estação do ano.

Nas tabelas 48, 49 e 50 são apresentados os parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade para cada tarefa para os diferentes meios de acesso.

Tabela 45 – Disponibilidade de realização de várias tarefas, utilizando como meio de acesso um barco de borracha, para a Zona 2.

Tarefa	Condicionante			Probabilidade de realizar a tarefa (%)				
	V _{máx} (m/s)	H _{s máx} (m)	Altura (m)	Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Subir o mastro	5.0	1.5	10	29.4	27.2	35.8	30.3	23.5
			100	22.4	20.2	26.3	22.8	19.6
Inspeção da torre e pás	7.0		10	39.4	35.8	46.7	40.3	33.4
			100	33.5	30.2	38.9	34.1	29.6
Subir ao rotor	12.0		10	45.2	40.3	53.6	46.2	39.6
			100	44.9	40.0	51.5	45.9	39.5
Trabalhar dentro da nacelle	17.0		10	46.1	42.2	54.2	47.5	39.7
			100	45.4	41.1	52.8	46.3	39.6

Tabela 46 – Disponibilidade de realização de várias tarefas, utilizando como meio de acesso um barco equipado com OAS, para a Zona 2.

Tarefa	Condicionante			Possibilidade de realizar a tarefa (%)				
	V _{máx} (m/s)	H _{s máx} (m)	Altura (m)	Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Subir o mastro	5.0	2.5	10	37.3	35.3	43.7	38.3	30.9
			100	28.4	26.4	32.2	28.9	25.2
Inspeção da torre e pás	7.0		10	53.2	67.2	61.9	53.6	45.3
			100	44.1	41.4	49.6	44.9	38.9
Subir ao rotor	12.0		10	72.1	67.2	86.8	70.5	61.7
			100	69.1	64.4	82.4	67.5	59.6
Trabalhar dentro da nacelle	17.0		10	75.6	67.5	87.0	71.0	62.5
			100	72.5	67.4	86.9	70.8	62.4

Tabela 47 – Disponibilidade de realização de várias tarefas, utilizando como meio de acesso helicóptero, para a Zona 2.

Tarefa	Condicionante			Disponibilidade (%)				
	V _{máx} (m/s)	H _{s máx} (m)	Altura (m)	Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Subir o mastro	5.0	-	10	41.2	40.4	45.1	43.3	35.1
			100	31.3	29.8	33.3	32.9	28.6
Inspeção da torre e pás	7.0		10	60.8	60.8	64.9	62.9	53.8
			100	49.7	48.6	51.7	52.2	45.3
Subir ao rotor	12.0		10	92.9	92.9	97.7	92.8	87.7
			100	84.6	83.8	89.7	84.8	79.0
Trabalhar dentro da nacelle	17.0		10	98.3	99.3	100	99.2	98.4
			100	99.2	96.6	99.4	95.9	93.1

Tabela 48 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade, utilizando como meio de acesso um barco de borracha, para a Zona 2.

Tarefa	Altura (m)	Duração das janelas de oportunidade		
			Horas	Dias
Subir o mastro	10	Média	16	0
		Máximo	215	9
		Mínimo	1	0
	100	Média	11	0
		Máximo	105	4
		Mínimo	1	0
Inspeção da torre e pás	10	Média	25	1
		Máximo	337	14
		Mínimo	1	0
	100	Média	18	0
		Máximo	156	6
		Mínimo	1	0
Subir ao rotor	10	Média	50	2
		Máximo	527	22
		Mínimo	1	0
	100	Média	48	2
		Máximo	527	22
		Mínimo	1	0
Trabalhar dentro da nacelle	10	Média	49	2
		Máximo	527	22
		Mínimo	1	0
	100	Média	49	2
		Máximo	527	22
		Mínimo	1	0

Tabela 49 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade, utilizando como meio de acesso um barco equipado com OAS, para a Zona 2.

Tarefa	Altura (m)	Duração das janelas de oportunidade		
			Horas	Dias
Subir o mastro	10	Média	21	0
		Máximo	251	9
		Mínimo	1	0
	100	Média	14	0
		Máximo	112	4
		Mínimo	1	0
Inspeção da torre e pás	10	Média	35	1
		Máximo	352	14
		Mínimo	1	0
	100	Média	23	0
		Máximo	182	7
		Mínimo	1	0
Subir ao rotor	10	Média	97	4
		Máximo	1047	43
		Mínimo	1	0
	100	Média	67	2
		Máximo	630	26
		Mínimo	1	0
Trabalhar dentro da nacelle	10	Média	106	4
		Máximo	1047	43
		Mínimo	1	0
	100	Média	105	4
		Máximo	1047	43
		Mínimo	1	0

Tabela 50 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade, utilizando como meio de acesso um helicóptero, para a Zona 2.

Tarefa	Altura (m)	Duração das janelas de oportunidade		
			Horas	Dias
Subir o mastro	10	Média	23	0
		Máximo	305	9
		Mínimo	1	0
	100	Média	18	0
		Máximo	122	4
		Mínimo	1	0
Inspeção da torre e pás	10	Média	52	1
		Máximo	393	16
		Mínimo	1	0
	100	Média	37	0
		Máximo	198	8
		Mínimo	1	0
Subir ao rotor	10	Média	112	5
		Máximo	2557	107
		Mínimo	1	0
	100	Média	74	3
		Máximo	739	31
		Mínimo	1	0
Trabalhar dentro da nacelle	10	Média	750	31
		Máximo	8190	341
		Mínimo	1	0
	100	Média	210	9
		Máximo	3512	146
		Mínimo	1	0

4.3.3 Zona 3

Seguidamente são apresentadas na tabela 51 as disponibilidades de acesso na Zona 3, tendo como condicionantes a altura significativa das ondas do mar e a velocidade do vento. São apresentados os resultados para toda a série de dados e sazonalmente. Uma vez que o verão é o período que apresenta maior percentagem de acessibilidade, são apresentados na tabela 52 as disponibilidades de acesso para os três meses de verão. Na figura 58 representa-se a acessibilidade em função do período sazonal. Na tabela 53 apresentam-se os parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade da zona3.

Tabela 51 – Disponibilidade de acesso, tendo como condicionante a altura significativa das ondas do mar.

Sistema de Acesso	Condicionante		Disponibilidade (%)				
	Hs _{máx} (m)	V _{máx} (m/s)	Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Barco de borracha	1.5	10.0	38.4	34.1	45.0	38.9	36.1
Barco com OAS	2.5	12.0	66.8	61.4	80.1	65.1	60.8
Helicóptero	-	20.0	99.6	99.7	100.0	99.6	99.2

Tabela 52 – Disponibilidade de acesso, tendo como condicionante a altura significativa das ondas do mar e a velocidade do vento, para o período de verão.

Sistema de Acesso	Condicionante		Acessibilidade (%)		
	Hs _{máx} (m)	V _{máx} (m/s)	Junho	Julho	Agosto
Barco de borracha	1.5	10.0	49.6	43.3	42.2
Barco com OAS	2.5	12.0	83.6	79.8	77.1
Helicóptero	-	20.0	100	100	99.9

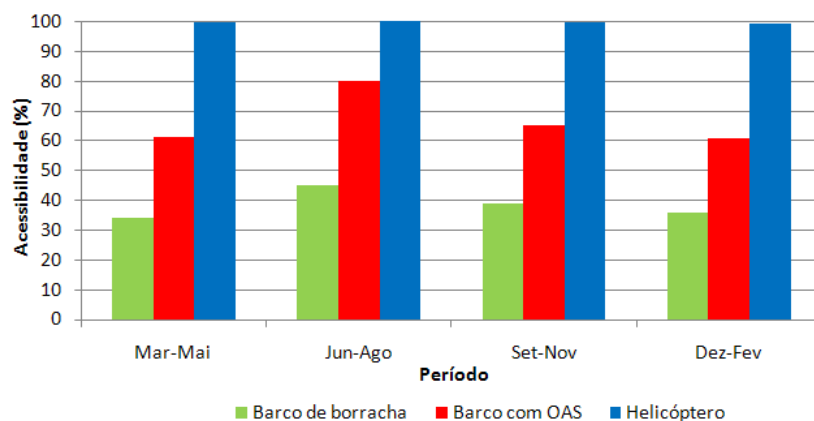


Figura 58 – Gráficos representativo da percentagem de acessibilidade ao longo do ano para os diferentes sistemas de acesso, para a Zona 3.

Tabela 53 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade.

Sistema de acesso	Duração das janelas de oportunidade	
	Horas	Dias
Barco de borracha	Média	50
	Máximo	531
	Mínimo	1
Barco com OAS	Média	86
	Máximo	1002
	Mínimo	1
Helicóptero	Média	1174
	Máximo	8500
	Mínimo	1

Seguidamente são apresentados os gráficos representativos das probabilidades acumuladas e de excedência de acessibilidade para a Zona 3, para os diferentes sistemas de acesso.

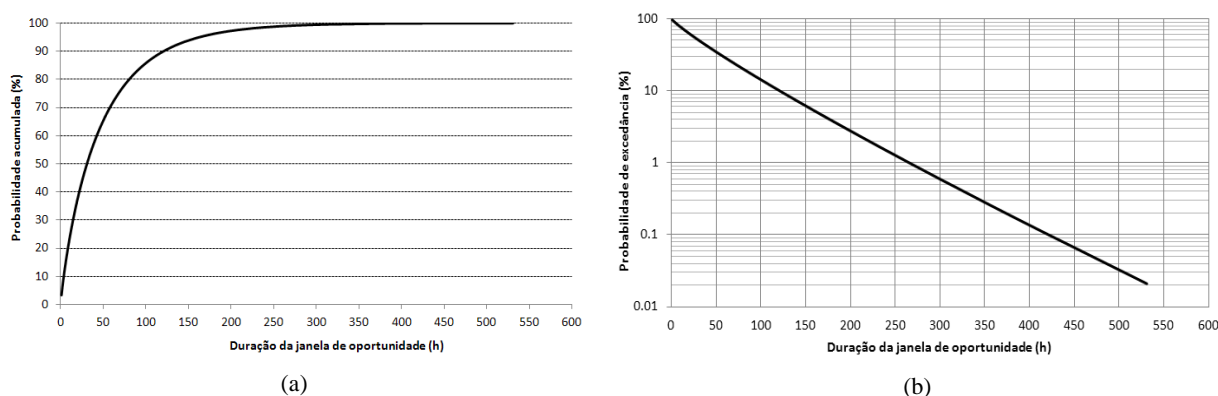


Figura 59 – Gráficos representativo da probabilidade (a) acumulada e de (b) excedência da acessibilidade utilizando como meio de acesso um barco de borracha simples, para a Zona 3.

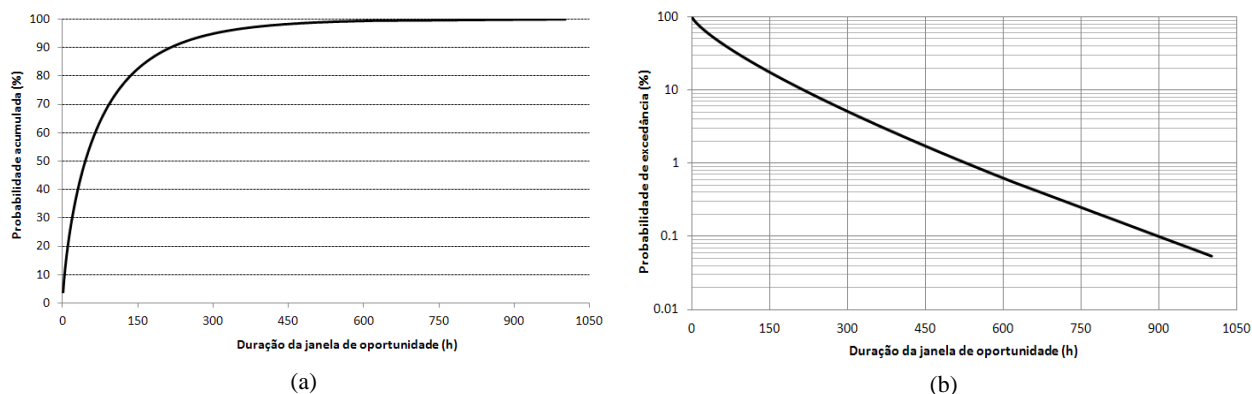


Figura 60 – Gráficos representativo da probabilidade (a) acumulada e de (b) excedência da acessibilidade utilizando como meio de acesso um barco equipado com OAS, para a Zona 3.

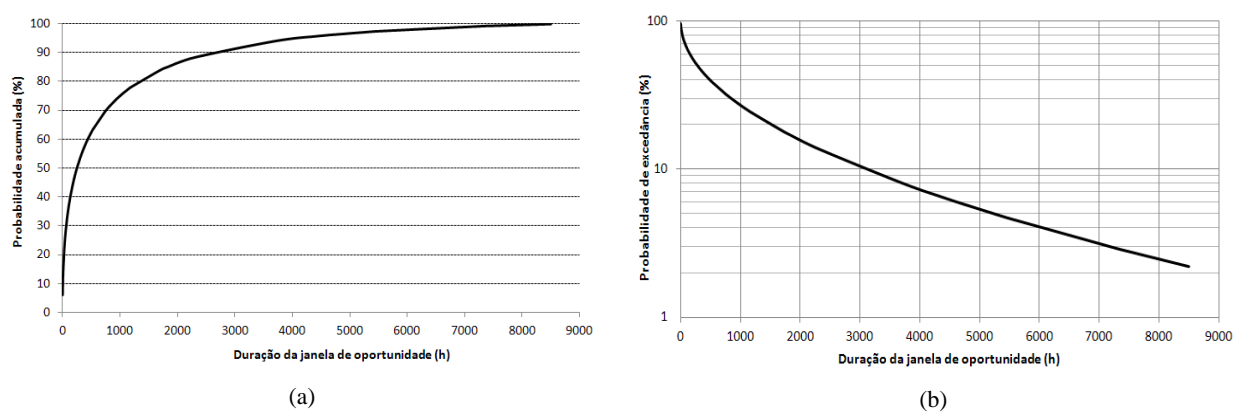


Figura 61 – Gráficos representativo da probabilidade (a) acumulada e de (b) excedência da acessibilidade utilizando como meio de acesso um helicóptero, para a Zona 3.

Seguidamente são apresentadas as probabilidades para a realização de várias tarefas. A tabela 54 apresenta as possibilidades/probabilidades tendo como condicionante a velocidade do vento a 10 e 100 metros de altura e a altura significativa correspondente à máxima permitida utilizando como meio de acesso um barco de borracha. Para as tabelas 55 e 56 os meios de acesso utilizados foram o barco com sistema de OAS e o helicóptero, respectivamente. Também aqui optou-se por apresentarem os resultados referentes à série completa e para estação do ano.

Tabela 54 – Disponibilidade de realização de várias tarefas, utilizando como meio de acesso um barco de borracha, para a Zona 3.

Tarefa	Condicionante $V_{m\acute{a}x}$ (m/s)	Altura (m)	Possibilidade de realizar a tarefa (%)				
			Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Subir o mastro	5.0	10	21.4	18.3	26.2	22.2	18.9
		100	14.7	12.8	13.7	17.3	15.4
Inspeção da torre e pás	7.0	10	30.3	26.2	36.0	30.7	28.6
		100	27.0	23.4	29.0	29.6	26.3
Subir ao rotor	12.0	10	38.7	34.4	45.3	39.2	35.5
		100	38.4	34.2	45.2	39.1	35.6
Trabalhar dentro da nacelle	17.0	10	39.8	36.4	46.7	39.9	36.8
		100	38.7	34.6	45.8	39.3	36.5

Tabela 55 – Disponibilidade de realização de várias tarefas, utilizando como meio de acesso um barco equipado com OAS, para a Zona 3.

Tarefa	Condicionante $V_{m\acute{a}x}$ (m/s)	Altura (m)	Possibilidade de realizar a tarefa (%)				
			Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Subir o mastro	5.0	10	28.8	25.7	33.9	30.3	25.4
		100	20.3	18.2	17.8	24.2	21.7
Inspeção da torre e pás	7.0	10	43.5	39.8	49.8	43.8	41.0
		100	39.6	36.0	40.1	43.7	39.3
Subir ao rotor	12.0	10	66.8	61.4	80.1	65.1	60.8
		100	65.5	60.8	78.7	64.5	59.2
Trabalhar dentro da nacelle	17.0	10	67.5	62.0	81.9	65.8	61.5
		100	67.5	62.0	80.5	65.7	61.4

Tabela 56 – Disponibilidade de realização de várias tarefas, utilizando como meio de acesso um helicóptero, para a Zona 3.

Tarefa	Condicionante $V_{m\acute{a}x}$ (m/s)	Altura (m)	Disponibilidade (%)				
			Total	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Subir o mastro	5.0	10	32.5	30.8	35.2	34.1	29.5
		100	23.2	21.5	28.9	28.0	25.1
Inspeção da torre e pás	7.0	10	51.2	49.9	54.9	52.7	49.5
		100	46.7	44.9	53.8	51.2	47.2
Subir ao rotor	12.0	10	90.4	90.6	93.8	90.8	86.8
		100	88.7	88.9	92.1	90.1	84.6
Trabalhar dentro da nacelle	17.0	10	99.3	99.4	99.9	99.1	98.7
		100	98.5	98.8	99.7	98.4	97.0

Nas tabelas 57, 58 e 59 são apresentados os parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade para cada tarefa para os diferentes meios de acesso.

Tabela 57 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade, utilizando como meio de acesso um barco de borracha, para a Zona 3.

Tarefa	Altura (m)	Duração das janelas de oportunidade		
			Horas	Dias
Subir o mastro	10	Média	15	0
		Máximo	149	6
		Mínimo	1	0
	100	Média	8	0
		Máximo	64	2
		Mínimo	1	0
Inspeção da torre e pás	10	Média	23	0
		Máximo	235	9
		Mínimo	1	0
	100	Média	16	0
		Máximo	237	9
		Mínimo	1	0
Subir ao rotor	10	Média	54	2
		Máximo	531	22
		Mínimo	1	0
	100	Média	51	2
		Máximo	531	22
		Mínimo	1	0
Trabalhar dentro da nacelle	10	Média	54	2
		Máximo	531	22
		Mínimo	1	0
	100	Média	53	2
		Máximo	531	22
		Mínimo	1	0

Tabela 58 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade, utilizando como meio de acesso um barco equipado com OAS, para a Zona 3.

Tarefa	Altura (m)	Duração das janelas de oportunidade		
			Horas	Dias
Subir o mastro	10	Média	18	0
		Máximo	167	7
		Mínimo	1	0
	100	Média	11	0
		Máximo	84	3
		Mínimo	1	0
Inspeção da torre e pás	10	Média	27	0
		Máximo	296	12
		Mínimo	1	0
	100	Média	18	0
		Máximo	245	10
		Mínimo	1	0
Subir ao rotor	10	Média	86	3
		Máximo	1002	41
		Mínimo	1	0
	100	Média	76	3
		Máximo	620	25
		Mínimo	1	0
Trabalhar dentro da nacelle	10	Média	98	4
		Máximo	1069	44
		Mínimo	1	0
	100	Média	96	4
		Máximo	1069	44
		Mínimo	1	0

Tabela 59 – Parâmetros estatísticos da duração das janelas de oportunidade, utilizando como meio de acesso um helicóptero, para a Zona 3.

Tarefa	Altura (m)	Duração das janelas de oportunidade		
			Horas	Dias
Subir o mastro	10	Média	22	0
		Máximo	172	7
		Mínimo	1	0
	100	Média	13	0
		Máximo	88	4
		Mínimo	1	0
Inspeção da torre e pás	10	Média	49	2
		Máximo	722	30
		Mínimo	1	0
	100	Média	25	0
		Máximo	345	10
		Mínimo	1	0
Subir ao rotor	10	Média	93	3
		Máximo	1024	5
		Mínimo	1	0
	100	Média	87	3
		Máximo	782	33
		Mínimo	1	0
Trabalhar dentro da nacelle	10	Média	684	29
		Máximo	7260	303
		Mínimo	1	0
	100	Média	385	16
		Máximo	5000	208
		Mínimo	1	0

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Caracterização do Escoamento Atmosférico e do Estado do Mar

Verificou-se que os valores médios e máximos das velocidades do vento e do estado do mar tendem a aumentar da Zona 1 (ao largo de Viana do Castelo) para a Zona 3 (ao largo da Lourinhã), ou seja, de Norte para Sul, com excepção da velocidade aos 100 metros de altura, que é mais elevada na zona 1, e da altura significativa que é mais baixa na Zona 2. A diferença entre a média da altura significativa das ondas do mar entre a Zona 2 (como o valor mais baixo) e a Zona 3 (a que apresenta o valor mais elevado) é de 0.14. Quanto às velocidades à cota de referência meteorológica de 10 metros de altura a diferença é de 1.33 m/s entre as Zonas 1 e 3 e de 0.29 m/s aos 100 metros de altura entre as mesmas zonas.

O perfil vertical da velocidade do vento foi determinado recorrendo ao ajuste pela equação da potência, tendo-se verificado nas três zonas de estudo perfis relativamente estagnados, ou seja, a velocidade do vento variou pouco com a altura (uma característica dos perfis verticais de zonas marítimas). A zona que apresentou uma maior variação da velocidade do vento com a altura foi a Zona 1, com uma variação entre os 10 e os 100 metros de altura de 1.57 m/s. Por outro lado, a Zona 3 apresentou a menor variação da velocidade entre as mesmas alturas, tendo sido essa diferença apenas 0.53 m/s.

Pela análise dos perfis diários verifica-se que os mesmos não variam de forma significativa ao longo das 24 horas. Apresentam ainda, para o caso das Zonas 2 e 3, o mesmo tipo de comportamento/variação nas duas alturas de simulação. No caso da Zona 1 verificou-se uma maior amplitude da diferença de velocidade do vento ao longo do dia e um desfasamento mais acentuado entre as velocidades do vento simulados a 10 e 100 metros de altura. Estas características do perfil diário da Zona 1 poderão ser devidas ao facto de esta zona encontrar-se a apenas 2 km de distância da costa, pelo que o vento poderá estar ainda sob a influência da orografia/rugosidade de terra. A distância à costa também poderá ser apontada como explicação para o facto de esta ser a região que apresenta uma maior variação da velocidade com a altura.

Quanto ao perfil mensal, concluiu-se que os meses que apresentaram velocidades do vento mais baixas são os meses entre Junho e Setembro, com excepção da Zona 3, onde esta tendência não é tão visível. Verificou-se ainda que a variação da velocidade média anual do vento a 10 e 100 metros de altura ao longo dos 10 anos de simulação é inferior a 1 m/s).

Como já foi mencionado, a função de distribuição que melhor representa a distribuição da velocidade do vento é a distribuição de Weibull. Desse modo, foram determinados os parâmetros dessa distribuição para os dados de vento de cada zona em estudo. Verificou-se que as Zonas 1 e 2 apresentaram valores do parâmetro de forma (k) mais baixos, correspondendo a distribuições mais amplas, ou seja, existe uma maior amplitude de valores da velocidade horizontal do vento. Por outro lado, a Zona 3 apresentou valores de k mais elevados, o que indica uma distribuição de Weibull mais “apertada”, isto é, a velocidade do vento tende a permanecer dentro de uma faixa mais estreita. Ainda de salientar que os valores de k são superiores aos 10 metros de altura, com excepção do caso da Zona 1. Quanto ao facto de escala (C), que está relacionado com a velocidade média do vento, aumentou da Zona 1 para a Zona 3.

Nos três casos de estudo verificou-se uma predominância do vento da direcção Norte para o período total da série de dados. Essa predominância aparece ainda mais destacada no período de verão, devido à Nortada que se faz sentir nestas regiões. Nos meses correspondentes aos períodos da Primavera e do Outono a distribuição de frequência está mais dispersa e no período de inverno existe uma componente de Sul significativa, devida a uma depressão fria, que se poderá formar durante o período de inverno.

Quanto aos parâmetros estatísticos sazonais do vento e do mar (velocidade do vento e altura significativa das ondas), verificou-se que estes atingem valores máximos nos meses de outono/inverno e mínimos na estação de verão.

No que diz respeito à altura significativa das ondas do mar verificou-se um comportamento muito idêntico nas três zonas. Pela análise dos gráficos do perfil mensal é possível constatar que os valores mínimos da altura significativa das ondas ocorreram nos meses de verão, sendo a Zona 3 aquela que apresentou valores médios mais elevados ao longo de todo o ano, com excepção do período de inverno que apresentou valores mais elevados na Zona 1. O perfil diário da altura significativa variou pouco ao longo do período de 24 horas, aumentado de altura da Zona 1 para a Zona 3. Verificou-se ainda que a variação da média anual da altura significativa das ondas ao longo dos 10 anos de simulação não é significativa.

Quando consideramos o período total de dados simulados, as rosas de direcção das ondas são semelhantes às de direcção do vento nas 3 zonas, apresentando uma acentuada componente de Norte. A correlação entre as direcções destas duas variáveis (direcção do vento e da onda) foram de 88, 79 e 87% para as Zona 1, 2 e 3, respectivamente. De igual forma à verificada para o caso da velocidade do vento, quando se analisaram as rosas de direcção das ondas sazonais observou-se que durante os meses de verão a componente de Norte é claramente dominante e no inverno verificou-se, à semelhança das rosas de direcção do vento, uma componente de Sul significativa (principalmente nas Zonas 1 e 2). No entanto, as direcções apresentadas neste estudo não estão inteiramente de acordo com as publicadas pelo ONDATLAS, que indica 240 – 300° como direcção predominante do vento para as 3 zonas aqui estudadas. Também os gráficos de dispersão dos dados do vento a 10 metros de altura e da altura significativa apresentaram uma dispersão elevada e baixos valores de correlação, indicando uma fraca relação entre a altura significativa da onda e a velocidade do vento, o que corresponde à ondulação ou “swell”, isto é, ondas que são geradas por uma tempestade num local distante (Zona de Geração) e se propagam pelo oceano. Assim, se as ondas são do tipo ondulação/”swell”, a correlação das direcções de vento e de onda não deveria ser tão elevada como se verificara no presente estudo, o que poderá ser um indicador de que as direcções das ondas simuladas poderão não ser totalmente correctas.

Os valores do parâmetro k das distribuições de Weibull da altura significativa da onda aumentam da Zona 1 para a 3, o que significa que a distribuição de Weibull vai ficando mais apertada, tendendo a altura significativa das ondas a permanecer dentro de uma faixa mais estreita. Sazonalmente verificaram-se valores do parâmetro k mais elevados no período de Verão e mais reduzidos nos meses de Inverno, o que traduz numa maior dispersão dos valores no inverno e uma menor variabilidade no verão.

5.2 Fenómenos Extremos

Como já foi mencionado atrás, um aspecto muito importante para o desenvolvimento e construção de parques eólicos, nomeadamente parques eólicos *offshore*, está relacionado com a ocorrência de ventos extremos e com o seu período de retorno. Para se estudar a ocorrência destes fenómenos extremos recorreu-se, como é usual no sector, a uma abordagem estatística, tendo-se determinado as probabilidades acumuladas e as probabilidades de excedência extremas, bem como os períodos de retorno destes valores extremos.

Neste caso interessa conhecer as probabilidades referentes a fenómenos extremos que possam condicionar a instalação e/ou operação de parques eólicos. Assim, para se calcular a probabilidade acumulada e de excedência dos extremos começou-se por determinar os valores máximos de cada ano para cada uma das variáveis. Seguidamente calcularam-se as probabilidades acumuladas desses valores, após o qual se traçou a curva da distribuição de Gumbel com o melhor ajuste. De salientar que o parâmetro r^2 , que representa o ajuste dos dados à distribuição de Gumbel, varia entre 0 e 1 sendo que valores próximos de 1 são indicativos de bons ajustes. É de referir o facto de, os melhores ajustes ocorrerem com os dados das velocidades, nomeadamente das velocidades aos 100 metros de altura. Por outro lado os valores de r^2 mais afastados de 1 foram os dados referentes ao ajuste da altura significativa, no entanto, também nestes casos os ajustes são aceitáveis (o valor mais baixo de r^2 foi de 0.821, para o acaso da altura significativa da Zona 3). Para se calcularem as probabilidades de excedência utilizou-se a equação 3.6, ou seja, determinou-se o inverso da probabilidade acumulada.

Através dos gráficos representativos das curvas de ajuste da distribuição de Gumbel das probabilidades acumuladas e de excedência dos valores extremos para as velocidades do vento e alturas significativas, é possível verificar qual a probabilidade de um certo valor ser ou não excedido.

Por exemplo, para uma velocidade do vento de 22 m/s para a Zona 1 e para os 10 metros de altura, a probabilidade de não excedência é de 75%, ou seja, a probabilidade de a velocidade ser inferior a 22 m/s é de 75%. Por outro lado, isto significa que a probabilidade de esse valor ser excedido é de apenas 25%. Para as Zonas 2 e 3 os valores obtidos para as probabilidades acumuladas foram de 70 e 56 %, respectivamente, o que representa 30 e 44 % de probabilidade de excedência para os casos da Zona 2 e 3, respectivamente.

Quanto ao caso da altura significativa, podemos considerar por exemplo o caso de uma onda com altura significativa de 10 metros. Verificou-se que a probabilidade de onda ser inferior a esse valor para a Zonas 1 foi de 64%, 72% para a Zona 2 e de 70% para o caso da Zona 3, correspondendo a 36, 28 e 30 % de probabilidade de excedência para as Zonas 1, 2 e 3, respectivamente.

Foram também determinados os períodos de retorno da velocidade do vento e da altura significativa das ondas extremas, para tal recorreu-se às equações 3.7 e 3.8. O período de retorno foi calculado para o intervalo de tempo entre os 10 e os 100 anos. Um dos períodos de referência em engenharia é o período de retorno de 50 anos. Desse modo verificou-se para a Zona 1 uma velocidade de 26.3 m/s correspondente a este período de retorno (para o caso dos 10 metros de altura), ou seja, é esperada a ocorrência de velocidades de vento de 26.3 m/s ou superiores a cada 50 anos. Para as Zonas 2 e 3 obtiveram-se 26.4 e 28.8 m/s, respectivamente. Para o mesmo período de retorno e para 100 metros de altura obtiveram-se as velocidades 34.1, 33.3 e 32.3 m/s para as Zonas 1, 2 e 3, respectivamente. Para o caso da altura significativa das ondas do mar obtiveram-se 18.8, 17.0 e 16.5 para as Zonas 1, 2 e 3, respectivamente, para o período de retorno de 50 anos.

5.3 Janelas de oportunidade

O uso de barcos equipados com OAS, em substituição dos barcos de borracha simples, como forma de acesso aos parques eólicos *offshore*, implica que a altura significativa máxima da onda suba de 1.5 para 2.5 metros e a velocidade do vento máxima permitida aumente de 10 para 12 m/s. Desta forma, verificou-se que o recurso a barcos com este tipo de sistema implicou um aumento significativo da acessibilidade ao parque nas três zonas de estudo, sendo o aumento mais expressivo na Zona 1 (30.6%) e mais reduzido na Zona 2 (27.0%). Optar pela utilização de um helicóptero como meio de acesso poderá não ser a opção mais favorável devido aos elevados custos associados. No entanto verificou-se que a sua utilização aumenta de forma significativa a acessibilidade ao parque, chegando a um aumento de acessibilidade de 32.8%, face à utilização de um barco equipado com OAS, para o caso da Zona 3, tornando a acessibilidade do parque ao longo do ano próxima de 100%. Assim esta poderá ser uma boa opção quando é necessária uma intervenção de manutenção imediata e a agitação marítima não permita o acesso por barco.

Verificou-se ainda que a acessibilidade quando realizada através da utilização de um barco (simples ou equipado com OAS) é superior na Zona 1 e inferior na Zona 3. No entanto quando o acesso é realizado através de um helicóptero observou-se a situação oposta, ou seja, a acessibilidade diminui da Zona 3 para a Zona 1. Verificou-se esta situação uma vez que a agitação marítima é, em termos médios, mais elevada na Zona 3, pelo que o acesso por barco está sobre uma maior restrição.

Em termos sazonais verificou-se que, quando o acesso é realizado através do uso de um barco, existe uma maior dependência da sazonalidade (a acessibilidade é maior durante o período de verão, nomeadamente durante o mês de Junho, com valores de acessibilidade para barcos com OAS a rodar os 80 - 90% e menor nos meses de inverno, apresentando valores na ordem de 60%, para barcos com o mesmo sistema). Esta dependência sazonal não se verifica quando o acesso é realizado por meio de um helicóptero, sendo que com este sistema de acesso os valores de acessibilidade são próximos dos 100% ao longo de todo o ano, nas três zonas de estudo.

Através das tabelas de duração das janelas de oportunidade verificou-se que, quando comparadas com as durações obtidas para os barcos de borracha simples, o uso de barcos equipados com OAS

resultaram num aumento significativo da duração das mesmas. Observou-se um aumento, em termos de horas médias, de 70, 48 e 36 horas para as zonas 1, 2 e 3, respectivamente. Quando o acesso é realizado por meio de um helicóptero, as durações das janelas de oportunidade aumentaram 337, 370 e 1088 horas, face às durações verificadas acedendo por barco equipado com OAS.

As durações médias e máximas das janelas de oportunidade são semelhantes nas três zonas de estudo, tendo-se verificado, para o caso de acesso utilizando um barco de borracha simples, valores médios próximos de 50 horas e máximos de 500 horas. Realizado o acesso com barcos equipados com OAS, obtiveram-se valores de duração média das janelas de oportunidade a rondarem as 100 horas e máximos de 1000 horas, ou seja, se o barco estiver equipado com OAS a duração das janelas tende a duplicar. Para o caso do acesso aos parques utilizando o helicóptero verificaram-se valores médios da duração da janela de cerca de 400 horas e máximos acima das 4500 horas, para as Zonas 1 e 2. Para a Zona 3 obteve-se uma duração média de 1174 horas e 8500 horas de janela de oportunidade máxima, o que indica que são poucos os registos de velocidade do vento superior a 20 m/s nesta região.

Apesar das elevadas durações máximas das janelas de oportunidade, verificou-se que as maiores frequências ocorreram em durações de janelas de oportunidade menos elevadas. Assim, se o sistema de acesso for um barco simples de borracha, as frequências das janelas de oportunidade ocorreram maioritariamente entre as 1 e 150 horas, no entanto, se o barco estiver equipado com sistema OAS as maiores frequências de ocorrência concentraram-se entre as 1 e 250 horas e por fim, se se optar pelo helicóptero como sistema de acesso, as frequências de ocorrência mais elevadas apresentaram-se entre 1 a 800 horas.

Foram ainda determinadas as probabilidades acumuladas e de excedência da duração (em horas) das janelas de oportunidade para os três sistemas de acesso, para cada uma das três zonas estudadas. Nos gráficos representativos dessas probabilidades é possível determinar qual a probabilidade de ocorrência de uma janela de oportunidade com uma determinada duração. Por exemplo, para uma janela de oportunidade com duração de pelo menos 100 horas verificou-se que, para a Zona 1 e utilizando um barco de borracha simples como meio de acesso, a probabilidade de ocorrência é de 13%, subindo para 36% se o barco for equipado com OAS e para 46% para o caso da utilização de um helicóptero. Para a Zona 2 as probabilidades determinadas foram de 16, 31 e 39% e de 14, 33 e 65% para o caso da Zona 3.

Para além da determinação das probabilidades de acessibilidade foram ainda calculadas as probabilidades de realização de determinadas tarefas. As tarefas aqui analisadas foram: subir o mastro, inspeccionar a torre e as pás, subir ao rotor e trabalhar dentro da nacelle. Cada tarefa poderá ser apenas realizada se a velocidade no local não ultrapassar um determinado valor. Assim foram determinadas as probabilidades de realização de cada uma das tarefas, para cada um dos sistemas de acesso e para cada uma das zonas de estudo. Verificou-se que foram as tarefas que se realizam com uma velocidade máxima permitida mais reduzida aquelas que apresentaram as possibilidades de realização mais baixas, e que a probabilidade de realização de qualquer uma das tarefas é superior no verão e inferior no período de inverno. Foram ainda apresentadas as tabelas com as durações das janelas de oportunidade médias, máximas e mínimas para a realização de cada tarefa, para sistema de acesso e para cada uma das zonas de estudo.

6. CONCLUSÃO

A construção de parques eólicos *offshore* está em rápido crescimento. No entanto, e apesar de todas as vantagens no seu desenvolvimento, são vários os obstáculos à sua evolução. Um desses obstáculos prende-se com o facto de o acesso aos mesmos, para construção e operações de manutenção, apenas poder ser realizado quando as condições atmosféricas o permitem. Assim, esta dissertação teve como objectivo a caracterização do comportamento do vento e do estado do mar de três zonas marítimas distintas da costa ocidental portuguesa, de forma a tornar possível a identificação de ventos extremos, períodos de retorno e janelas de oportunidade que permitam a realização de trabalhos de construção e manutenção em parques localizados nestas zonas.

Verificou-se que a Zona 3 (mais a sul) apresentou os valores médios mais elevados da velocidade do vento e da altura significativa da onda, com excepção da velocidade do vento a 100 metros de altura que é mais elevada na Zona 1 (mais a norte). Observou-se também que o perfil vertical das três zonas é muito “estagnado”, ou seja, a velocidade varia pouco com a altitude. De uma maneira geral os perfis diários nas três zonas variam pouco e os mensais indicam que tanto a velocidade vento como a altura significativa das ondas do mar apresentam valores mais baixos nos meses entre Junho e Setembro e máximos durante o período de inverno.

O estudo dos fenómenos extremos permitiu o cálculo da probabilidade de um determinado valor extremo da velocidade do vento ou da altura significativa das ondas do mar ser igualado ou excedido. Verificou-se que os períodos de retorno, nomeadamente dos 50 anos, apresentaram valores de velocidade do vento a 100 metros de altura e da altura significativa das ondas mais elevados na Zona 1, enquanto os valores mais elevados do período de retorno da velocidade do vento a 10 metros de altura observaram-se na Zona 3.

Verificou-se que o período do ano mais favorável para construção/operações de manutenção nos parques eólicos *offshore* localizados nestas zonas é o período de verão, tendo sido o mês de Junho aquele que apresentou uma maior percentagem de valores inferiores aos máximos permitidos de velocidade do vento e de altura significativa das ondas do mar. Concluiu-se que, para os casos da utilização de um barco de borracha simples ou equipado com OAS como sistemas de acesso, a acessibilidade ao parque é superior na Zona 1 e menor na Zona 3, no entanto quando o acesso ao parque é realizado através de um helicóptero é na Zona 3 que a percentagem de acessibilidade é superior.

A utilização de barcos equipados com sistema OAS melhorou de forma significativa a acessibilidade aos parques eólicos em todas as zonas, elevando de forma considerável as janelas de oportunidade médias e máximas. O acesso aos parques utilizando o helicóptero foi o sistema de acesso que apresentou a maior acessibilidade e as janelas de oportunidade de duração mais longa, no entanto a utilização deste sistema de acesso é muito dispendioso e impõe uma logística complexa, pelo que se concluiu que a utilização de barcos equipados com OAS são os mais adequados para construção/operações de manutenção dos parques eólicos *offshore*.

Salienta-se o facto de não terem sido cedidos dados referentes à visibilidade. Tratando-se de uma variante meteorologia muito relevante na questão da acessibilidade a parques eólicos *offshore*, os resultados da acessibilidade aos mesmos aqui apresentados deverão ser tomados com alguma precaução.

A costa ocidental portuguesa, quando comparada com, por exemplo, certas zonas do Mar do Norte, apresenta uma razoável percentagem de acessibilidade e janelas de oportunidade de duração suficientemente longas para a construção/ operações de manutenção. Assim, conhecendo quais os períodos mais favoráveis para aceder e realizar determinadas tarefas nos parques eólicos *offshore*, é possível definir estratégias de manutenção adequadas e ajustadas ao local do parque eólico *offshore* durante o seu período de vida.

7. REFERÊNCIAS

- Bautista, E., S. Zocchi e L. Angelocci, 2004. A distribuição generalizada de valores extremos aplicada ao ajuste dos dados de velocidade máxima do vento em Piracicaba. *Revista Matemática e Estatística*, v.22, nº1, pp. 95-111.
- Bierbooms, W. A. A. M., 2001. Determination of wind and wave design conditions based on the Next database. *Offshore Wind Energy Special Topic Conference, Brussels*.
- Braam, H. e L. M. M. M. Rademakers, 2001. The influence of weather conditions on the strategies and costs of operation and maintenance. *European Wind Energy Conference (EWEC), Brussels*.
- Braam, H. e P. J. Eecen, 2005. Assessment of wind and wave data measured at Ijmuiden Munitiestortplaats. *ECN-C-05-060, ECN project "O&M Cost Estimate" nº 7.4395 (R15)*, 39 pp.
- Bussel, G. J. W. e M. B. Zaaijer, 2001. Reliability, availability and maintenance aspects of large-scale offshore wind farms, a concepts study. *Marine Renewable Energies Conference*, v.113, 1 ISBN 1-902536-43-6, pp. 119-126.
- Bussel, G. J. W. e A. R. Henderson, 2001. State of the art and technology trends for offshore wind energy: operation and maintenance issues. *European Wind Energy Conference (EWEC), Brussels*.
- Bussel, G. J. W., 2002. Offshore wind energy, the reliability dilemma. *International Conference, Berlin*, pp. 2-6.
- Bussel, G. J. W. e W. A. A. M. Bierbooms, 2003. Analysis of different means of transport in the operation and maintenance strategy for the reference DOWEC offshore wind farm. *Wind Engineering*, v.27, nº5, pp. 381-392.
- Commission of the European Communities, 2007.
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2007/com2007_0002en01.pdf, consultado em Outubro 2010.
- Costa, P., P. Miranda e A. Estanqueiro, 2006. Development and validation of the portuguese wind atlas. *European Wind Energy Conference (EWEC), Athens*.
- Costa P., T. Simões e A. Estanqueiro, 2010. "Sustainable Offshore Wind Potential in Continental Portugal", Workshop on Oceans as a Source of energy, Academia de Engenharia, pp. 40-43.
- ConWx, 2010. Meteocean hindcast system – Introduction to hindcast system, 15 pp.
- Della-Marta, P. M., H. Mathis, F. Cristoph, M. A. Liniger, J. Kleinn e C. Appenzeller, 2009. The return period of wind storms over Europe. *International Journal of Climatology*, v.29, nº3, pp. 437-459.
- Dutch Offshore Wind Energy Converter Project, Wind and wave conditions – DOWEC 47 rev. 2, 90 pp.
- Dutch Offshore Wind Energy Converter Project, O&M aspects of the wind farm – DOWEC 82 rev. 4, 10/2003, 37 pp.
- EWEA, 2009. Oceans of opportunity: Harnessing Europe's largest domestic energy resource.
[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Offshore Report 2009.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Offshore_Report_2009.pdf), consultado em Abril, 2010.
- EWEA, 2010.
http://ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/statistics/EWEA_Annual_Statistics_2010.pdf, consultado em Fevereiro 2011.
- Frank, H. P., 2001. Extreme winds over Denmark from the NCEP/NCAR reanalysis. *Riso National Laboratory*, R-1238 (EN),
<http://130.226.56.153/rispubl/vea/veapdf/ris-r-1238.pdf>, consultado em Maio 2010.
- Frank, H. P., O. Rathmann, N. G. Mortensen e L. Landberg . 2001. The numerical wind atlas: The kamm/wasp method. Technical Report, Information Service Department, *Riso National Laboratory*. R – 1252 (EN),
<http://130.226.56.153/rispubl/VEA/veapdf/ris-r-1252pt1.pdf>, consultado em Maio 2010.
- Garrad Hassan, 2004. Design methods for offshore wind turbines at exposed sites. *Report nº 2317/BR/22D, EU JOULE III Project JOR3-CT98-0284*, 71 pp.
- Gonçalves, R. C., 2007. Análise de frequência regional de ventos extremos no Paraná. *Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia de recursos hídricos e ambiental pela Universidade Federal de Paraná*, 206 pp.
- Google Earth, <http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.html>, consultado em Outubro 2010.
- Herman, S. A., 2002. Offshore wind farms: Analysis of transport and installation costs. ECN-I-02-002, 123 pp.
- Holthuisen, L. H., 2007. Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge. *Cambridge University Press*, 405 pp.
- IEA, 2010. http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf, consultado em Fevereiro 2011.
- IEC 61400-1 Edition 3.0 2005-08, 2005. International Standard, Wind Turbines – Part 1: Design Requirements, 89 pp.
- INETI, 2003. Atlas de Ondas em Portugal - ONDATLAS, pp. 8-11, 37-40, 150-153.

- Martins, F. R., R. A. Guarnieri e E. B. Pereira, 2008. O aproveitamento da energia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.30, nº1, 13 pp.
- McMillan, D. e Graham Ault. 2007. Towards qualification of condition monitoring benefit for wind turbine generators. *Wind Engineering* v.31, nº4, pp. 267-285.
- Milborrow, D., 2003. Offshore wind rises to the challenge. *Wind Power Monthly Magazine*, v.19, nº4, pp. 51-56.
- Mistaya Engineering Inc., Windographer 2.0 Professional, 2011.
- Mortensen, N. G., D. N. Heathfield, L. Myllerup, L. Landberg e O. Rathmann, 2004. Wind Atlas Analysis and Application Program: Getting started with WAsP 8.
- Muzathink, A. M., W. B. Wan Nik, K. B. Samo e M. Z. Ibrahim, 2011. Ocean wave measurement and wave climate prediction of Peninsular Malaysia. *Journal of Physical*, v.22, nº 1, pp.77-92.
- Palutikof, J. P., B. B. Brabson, D. H. Lister e S. T. Adcock, 1999. A review of methods to calculate extreme wind speeds. *Meteorological Applications*, v.6, nº2, pp. 119-132.
- Pedersen, Tom K., 1998. Offshore wind power – the operational aspects. *Vestas Danish wind technology A/S, Lem, Denmark*. http://www.owen.eri.ac.uk/documents/bwea20_41.pdf, consultado em Março 2010.
- Persson, K. e J. Rydén, 2010. Exponential Gumbel distribution for estimation of return levels of significant wave height. *Journal of Environmental Statistics* v.1, nº 3, 12 pp.
- Priestley, M.B., 1981. Probability and Mathematical Statistics – Spectral Analysis and Time Series. Manchester. Department of Mathematics, *University of Manchester, Institute of Science and Technology – Academic Press*.
- Prins, R., 2001. Offshore access – the key to offshore wind farm efficiency. *European Wind Energy Conference (EWEC), Brussels*.
- Rademakers, L. W. M. M. e H. Braam, 2002. O&M aspects of the 500 MW offshore wind farm at NL7. DOWEC Project, nº10080, rev 2. http://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/wind/docs/dowec/10080_002.pdf, consultado em Agosto 2010.
- Rademakers, L. W. M. M., H. Braam, M. B. Zaaijer e G. J. W. van Bussel, 2003. Assessment and optimization of operation and maintenance of offshore wind turbines. *European Wind Energy Conference (EWEC), Madrid*, ECN Report: ECN-RX-03-044, 6 pp.
- Rademakers, L. W. M. M., H. Braam, T. S. Obdam, P. Frohböse e N. Kruse, 2008. Tools for estimating operation and maintenance costs of offshore wind farms: State of art. *EWEC, Brussels*, ECN-M-08-026, 11 pp.
- Rademakers, L. W. M. M., H. Braam, T. S. Obdam e R. P. Pieterman, 2009. Operation and maintenance cost estimator (OMCE) to estimate the future O&M costs of offshore wind farms. *European Wind Energy Conference (EWEC), Stockholm*, ECN-M-09-126, 12 pp.
- Schöntag, C., e G.J.W. van Bussel, 1997. Operation and maintenance aspects of large offshore wind farms – *European Wind Energy Conference (EWEC), Dublin*, pp. 272-275.
- Tuno Knob – Case study, 2001. Case - 04. http://www.emd.dk/Projects/Projekter/20%20Detailed%20Case%20Studies/Case%20report04%20%20Tunoe_Knob_Denmark.pdf, consultado em Setembro 2010.
- Tuno Knob - Garrad Hassan questionnaire response, Abril 2001.
- Villalobos, F., 2003. Model testing of foundations for offshore wind turbines – The first report. *University of Oxford*, 43 pp. <http://web2.ucsc.cl/~avillalobos/Informes/firstyear.pdf>, consultado em Setembro 2010.
- Yilmaz, V. and H. Eray Çelik, 2008. A statistical approach to estimate the wind speed distribution. *Dogus Universitesi*, 9 (1), pp. 122-132. <http://journal.dogus.edu.tr/13026739/2008/cilt9/sayi1/M00195.pdf>, consultado em Junho 2010.

ANEXOS

ZONA 1

Tabela I.1 – Frequência de ocorrência de velocidade por bin de velocidade, para as alturas de simulação de 10 e 100 metros.

Bin de Velocidade (m/s)	Frequência de ocorrência (%), h=10m	Frequência de ocorrência (%), h=100m
0-1	0.8	0.8
1-2	8.0	3.4
2-3	12.7	4.8
3-4	8.7	7.6
4-5	16.4	10.6
5-6	13.3	10.4
6-7	10.9	8.3
7-8	5.3	11.1
8-9	8.0	8.9
9-10	5.2	5.6
10-11	3.6	7.9
11-12	1.6	5.9
12-13	2.0	7.9
13-14	1.3	5.9
14-15	0.8	3.2
15-16	0.5	2.9
16-17	0.4	2.5
17-18	0.2	1.4
18-19	0.1	0.9
19-20	0.1	1.1
20-21	0.0	0.7
21-22	0.0	0.4
22-23	0.0	0.5
23-24	0.0	0.0

Tabela I.2 – Parâmetros da distribuição de Weibull para os 10 metros de altura.

Sector (°)	A (m/s)	K	V (m/s)
0	6.3	2.21	5.57
30	4.9	2.14	4.36
60	3.7	2.67	3.33
90	5.6	4.36	5.14
120	5.2	1.60	4.63
150	7.5	1.81	6.64
180	9.1	2.28	8.07
210	7.9	1.90	6.99
240	6.0	1.56	5.39
270	6.9	1.91	6.15
300	5.5	1.58	4.91
330	6.4	2.12	5.67

Tabela I.3 – Parâmetros da distribuição de Weibull para os 100 metros de altura.

Sector (°)	A (m/s)	k	V (m/s)
0	9.0	2.79	7.99
30	7.1	2.32	6.30
60	5.7	3.09	5.14
90	7.3	3.47	6.56
120	7.9	1.90	6.97
150	10.9	2.03	9.64
180	12.3	2.40	10.9
210	10.9	2.04	9.69
240	8.3	1.75	7.44
270	8.4	1.89	7.44
300	6.3	1.62	5.64
330	8.1	2.54	7.20

Tabela I.4 – Parâmetros da distribuição de Weibull para a altura significativa das ondas.

Sector (°)	A (m)	K	Hs (m)
0	1.9	1.56	1.71
30	1.8	2.04	1.55
60	1.4	1.85	1.23
90	1.1	1.26	0.98
120	1.1	1.17	1.07
150	2.0	1.52	1.82
180	2.8	1.80	2.52
210	3.4	1.79	3.06
240	3.8	1.73	3.41
270	3.7	1.55	3.32
300	2.8	1.28	2.60
330	1.8	1.05	1.74

ZONA 2

Tabela II.1 – Frequência de ocorrência de velocidade por bin de velocidade, para as alturas de simulação de 10 e 100 metros.

Bin de Velocidade (m/s)	Frequência de ocorrência (%), h=10m	Frequência de ocorrência (%), h=100m
0-1	0.8	1.1
1-2	7.0	4.9
2-3	10.5	7.8
3-4	11.2	8.8
4-5	11.6	8.7
5-6	11.1	8.0
6-7	8.6	10.5
7-8	8.5	10.0
8-9	8.9	8.8
9-10	6.4	6.5
10-11	4.8	4.4
11-12	3.6	5.2
12-13	2.3	3.9
13-14	1.6	2.7
14-15	1.2	2.0
15-16	0.7	1.6
16-17	0.5	1.4
17-18	0.3	1.1
18-19	0.2	0.8
19-20	0.1	0.5
20-21	0.1	0.4
21-22	0.0	0.3
22-23	0.0	0.2
23-24	0.0	0.1
24-25	0.0	0.0

Tabela II.2 – Parâmetros da distribuição de Weibull para os 10 metros de altura.

Sector (°)	A (m/s)	K	V (m/s)
0	7.1	2.09	6.26
30	6.0	2.02	5.36
60	5.4	2.16	4.77
90	4.4	2.16	3.93
120	4.0	1.67	3.60
150	6.2	1.56	5.54
180	9.1	2.17	8.03
210	8.8	2.02	7.77
240	7.6	1.81	6.73
270	7.1	1.74	6.29
300	6.1	1.52	5.54
330	7.3	2.39	6.50

Tabela II.3 – Parâmetros da distribuição de Weibull para os 100 metros de altura.

Sector (°)	A (m/s)	k	V (m/s)
0	8.4	2.33	7.46
30	7.3	2.38	6.43
60	6.4	2.46	5.67
90	5.1	2.30	4.53
120	4.9	1.78	4.33
150	7.7	1.64	6.88
180	10.8	1.85	9.62
210	11.3	1.95	9.98
240	9.5	1.79	8.49
270	8.3	1.72	7.41
300	6.8	1.47	6.18
330	8.3	2.08	7.37

Tabela II.4 – Parâmetros da distribuição de Weibull para a altura significativa das ondas.

Sector (°)	A (m)	K	Hs (m)
0	2.1	1.70	1.83
30	1.7	1.84	1.55
60	1.3	1.59	1.17
90	1.1	1.23	1.05
120	1.2	1.15	1.14
150	1.7	1.48	1.58
180	2.4	1.67	2.17
210	3.1	1.76	2.74
240	3.9	2.00	3.46
270	3.7	1.65	3.27
300	3.3	1.54	2.93
330	2.0	1.36	1.86

ZONA 3

Tabela III.1 – Frequência de ocorrência de velocidade por bin de velocidade, para as alturas de simulação de 10 e 100 metros.

Bin de Velocidade (m/s)	Frequência de ocorrência (%), h=10m	Frequência de ocorrência (%), h=100m
0-1	0.6	0.5
1-2	4.8	2.8
2-3	7.1	5.1
3-4	9.3	7.2
4-5	10.7	7.6
5-6	8.8	11.9
6-7	9.9	11.6
7-8	9.0	12.1
8-9	10.7	9.5
9-10	8.4	7.3
10-11	6.3	7.7
11-12	4.8	5.5
12-13	3.6	3.1
13-14	1.9	2.1
14-15	1.6	2.3
15-16	1.1	1.4
16-17	0.7	0.8
17-18	0.4	0.6
18-19	0.2	0.3
19-20	0.1	0.2
20-21	0.1	0.1
21-22	0.0	0.0
22-23	0.0	0.0
23-24	0.0	0.0

Tabela III.2 – Parâmetros da distribuição de Weibull para os 10 metros de altura.

Sector (°)	A (m/s)	K	V (m/s)
0	9.1	2.78	8.07
30	8.3	2.72	7.43
60	5.6	2.08	4.95
90	5.9	2.43	5.23
120	5.6	1.78	5.02
150	6.6	1.92	5.88
180	8.7	2.20	7.68
210	9.0	2.12	7.99
240	7.7	1.81	6.84
270	7.0	1.70	6.24
300	6.3	1.57	5.68
330	6.7	1.77	5.97

Tabela III.3 – Parâmetros da distribuição de Weibull para os 100 metros de altura.

Sector (°)	A (m/s)	k	V (m/s)
0	9.4	2.63	8.32
30	7.3	2.46	6.49
60	6.5	2.19	5.73
90	8.9	2.79	7.93
120	9.4	2.18	8.35
150	9.5	2.06	8.45
180	9.5	1.99	8.38
210	9.0	1.91	7.98
240	8.4	1.82	7.47
270	9.0	1.98	7.94
300	8.2	1.76	7.29
330	8.3	2.09	7.36

Tabela III.4 – Parâmetros da distribuição de Weibull para a altura significativa das ondas.

Sector (°)	A (m)	k	Hs (m)
0	2.4	1.6	2.11
30	2.0	1.67	1.83
60	1.7	1.68	1.54
90	1.3	1.34	1.21
120	1.5	1.42	1.33
150	1.8	1.55	1.58
180	2.4	1.77	2.15
210	2.7	1.71	2.44
240	3.1	1.60	2.74
270	3.5	1.71	3.13
300	3.2	1.59	2.91
330	2.8	1.44	2.52