



Instituto de Engenharia
Mecânica e Gestão Industrial

20
anos motor de inovação

Caracterização do Recurso Eólico no Paul da Serra Ilha da Madeira

Elaborado para: **AREAM, Agência Regional
de Energia e Ambiente
da Região Autónoma da Madeira**

Outubro de 2006
2006\990

Agradecimento

O INEGI agradece a colaboração empenhada dos técnicos da AREAM nos trabalhos de campo, designadamente na prospecção e identificação dos locais para avaliação do recurso eólico, no acompanhamento da obra de instalação das estações de medição e apoio logístico concedido, no acompanhamento da exploração e manutenção destas estações, bem como nos contactos com as autoridades locais para obtenção de autorizações e com outras entidades detentoras de informação e potenciais promotores de parques eólicos

Summary

The present study was prepared on the scope of the collaboration between AREAM, Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira. AREAM has promoted several studies aiming to improve the knowledge of the wind potential of Madeira Island. The main objective of this approach is to characterize the wind resource in two of the potential sites for the construction of wind farm areas, Fonte do Juncal and Pico Gordo.

The assessment of the wind resource in the zone under analysis has started in February/March 2001, with the installation of three measuring stations, PORT210-Paul 1, PORT211-Paul 2, PORT212-Paul 3, promoted by the regional utility. In August 2002, a new station started operating, PORT213-Paul 4. More recently, in May 2005, four new stations were installed, PORT321-Perform 3, PORT322-Fonte do Juncal, PORT323-PicoGordo and PORT324-Galhano. PORT210 went out of service in 2004.

For the characterization of the wind regime it was possible to select a period of five years of data from PORT211 and PORT212. From station PORT213 it was possible to select a three year period and from PORT322, PORT323 and PORT324 only one year of data.

WAsP was used for the vertical and horizontal extrapolation of wind climate statistics, following the European Wind Atlas methodology. The ability of WAsP to deal with the relief and wind characteristics observed in the wind farm area was inspected by means of self-predictions and also testing the reproduction of the vertical wind profile. The results from the self-predictions as well as the reproduction of the wind profiles for heights above ground levels close to the ones of the wind turbine hub, have showed some discrepancies with reality. In order to minimize its influence in the final results, new data series were created for heights above ground close to the wind turbine axes, based in the measured vertical profiles.

In order to enlarge the temporal representativeness of the wind climate description observed at PORT322 and PORT323, correlations with the data collected in PORT211 and PORT212 were attempted. The correlations were successfully achieved for station PORT322, using a MCP (“Measure-Relate-Predict”) methodology, allowing a construction of a five year wind climate description. The results achieved for station PORT323 lead to significant deviations. A linear correlation was performed and a wind regime description with a temporal significance of five year was also constructed, but

assuming the wind rose for the measured period to be representative of a longer period. Uncertainty is higher in this case. The estimates of wind resource had been calculated on the basis of a five years wind atlas for the two local measurement stations.

Concerning the data collected in local stations it is possible to conclude that Pico Gordo can be classified in Classe I_B, according IEC 61400 – Parte 1 class definition. The values obtained from data collected in PORT322 state that in Fonte do Juncal wind turbines may be classified according Class II_B. As there is a considerable uncertainty in this classification, this issue must be appreciated in detail a latter stage of the projects.

The uncertainty of the present analysis is set to be 7.6 % to the Pico Gordo area and 8.5 % to the Fonte do Juncal area, with respect to the average wind speeds.

Resumo

O presente estudo foi levado a cabo no âmbito da colaboração entre o INEGI e a AREAM, Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, instituição que tem promovido diversas acções de caracterização do recurso eólico na Ilha da Madeira. Em concreto, o objectivo principal é aqui o de caracterizar o potencial eólico em dois locais possíveis locais de implantação de parques eólicos, Fonte do Juncal e Pico Gordo.

A monitorização do recurso eólico nesta zona iniciou-se em Fevereiro/Março de 2001, com a instalação de três estações de medição das características do vento, PORT210-Paul 1, PORT211-Paul 2 e PORT212-Paul 3, por iniciativa da Empresa de Electricidade da Madeira, tendo sido posteriormente complementada, em Agosto de 2002, com a entrada em funcionamento de uma quarta estação PORT213-Paul 4. Mais recentemente, em Maio de 2005, foram instaladas quatro novas estações de medição, PORT321-Perform3, PORT322-Fonte de Juncal, PORT323-Pico Gordo e PORT324 – Galhano. PORT210 saiu de serviço em 2004.

Para a caracterização do regime de ventos foram seleccionadas as estações PORT211 e PORT212, das quais foi possível reunir um período de cinco anos de dados, bem como PORT322 e PORT323, das quais apenas é possível reunir dados de um período anual.

Para a estimativa do recurso nas áreas dos parques recorreu-se ao modelo de escoamento atmosférico englobado no programa WAsP e à metodologia sugerida no Atlas Europeu do Vento. Por forma a verificar a adequação do modelo às características do vento identificadas recorreu-se a exercícios de auto-previsão, bem como a exercícios de reprodução do perfil vertical de velocidades. Nos resultados apurados para a auto-previsão foram encontradas algumas diferenças que se devem, sobretudo, ao mau ajustamento da função de Weibull às séries de dados. No caso da reprodução do perfil vertical de velocidades foram identificadas algumas dificuldades de ajuste do modelo à situação real, em alguns locais, pelo que nestes casos foram criadas novas séries de dados à altura do eixo do rotor dos modelos de aerogerador que se pensam que possam vir a ser instalados neste projecto, com base nos perfis medidos, procurando minimizar o problema.

De forma a aumentar a representatividade do regime de ventos observado em PORT322 e PORT323 foram tentadas correlações entre os seus dados e os dados das estações que operam há mais tempo, PORT211 e PORT212, consideradas como estações de referência.

Na estação PORT322 foi possível através de uma correlação do tipo MCP (“Measure – Correlate - Predict”) a construção de uma descrição do regime de ventos para um período de cinco anos. No caso da estação PORT323, os resultados deste exercício conduziram a erros significativos, não tendo, por isso, sido utilizada esta metodologia. Optou-se, então, por utilizar uma correlação linear com as mesmas estações de referência, assumindo-se como válida a rosa-dos-ventos de um ano de medição, através da qual foi possível também aumentar a representatividade dos dados recolhidos na estação PORT323 para cinco anos, embora com maior incerteza. As estimativas posteriormente elaboradas tiveram por base uma representatividade global de dados de cinco anos nas duas estações.

A informação recolhida nas estações de medição parece enquadrar o local de Pico Gordo na Classe I_B, segundo a norma IEC 61400-Parte 1. No caso do local de Fonte do Juncal os valores obtidos nas estações PORT322 e PORT212, instaladas em locais semelhantes, indicam que os aerogeradores a instalar na área seriam de Classe II_B. Em qualquer dos casos a incerteza desta classificação é grande, dada a curta extensão da série de dados disponível nas estações de medição. Trata-se de um assunto que deve ser retomado em estádios posteriores do desenvolvimento dos projectos.

A incerteza associada à análise efectuada para o local de Pico Gordo é de 7,6 % e de 8,5 % para o local de Fonte do Juncal, em termos da distribuição da velocidade média anual do vento nas áreas circundantes.

Índice

Índice	1
Introdução	3
Breve caracterização dos locais	7
Medições locais das características de vento	13
PORT322 – Fonte do Juncal	15
PORT323 – Pico Gordo	18
Desempenho do modelo de escoamento	23
Variação vertical da velocidade do vento	23
Auto-previsão	24
Regime de ventos	27
Extensão da representatividade das séries de dados	27
Correlações de PORT322 – Fonte do Juncal	28
Regime médio de ventos em PORT322	31
Correlações de PORT323 – Pico Gordo	33
Regime médio de ventos em PORT323	36
Turbulência	38
Regime de ventos extremos	38
Distribuição do recurso eólico e classificação do local	41
Distribuição do recurso eólico	41
Classificação do local – Norma IEC 61400 – Parte 1	44
Incerteza	47
Notas finais	49
Anexo I	51
Mapa digitalizado utilizado nos cálculos	51
Anexo II	55
Resultados da campanha de medição em PORT322	55
Anexo III	59
Resultados da campanha de medição em PORT323	59
Anexo IV	63
Atlas de vento	63

Página em branco



Introdução

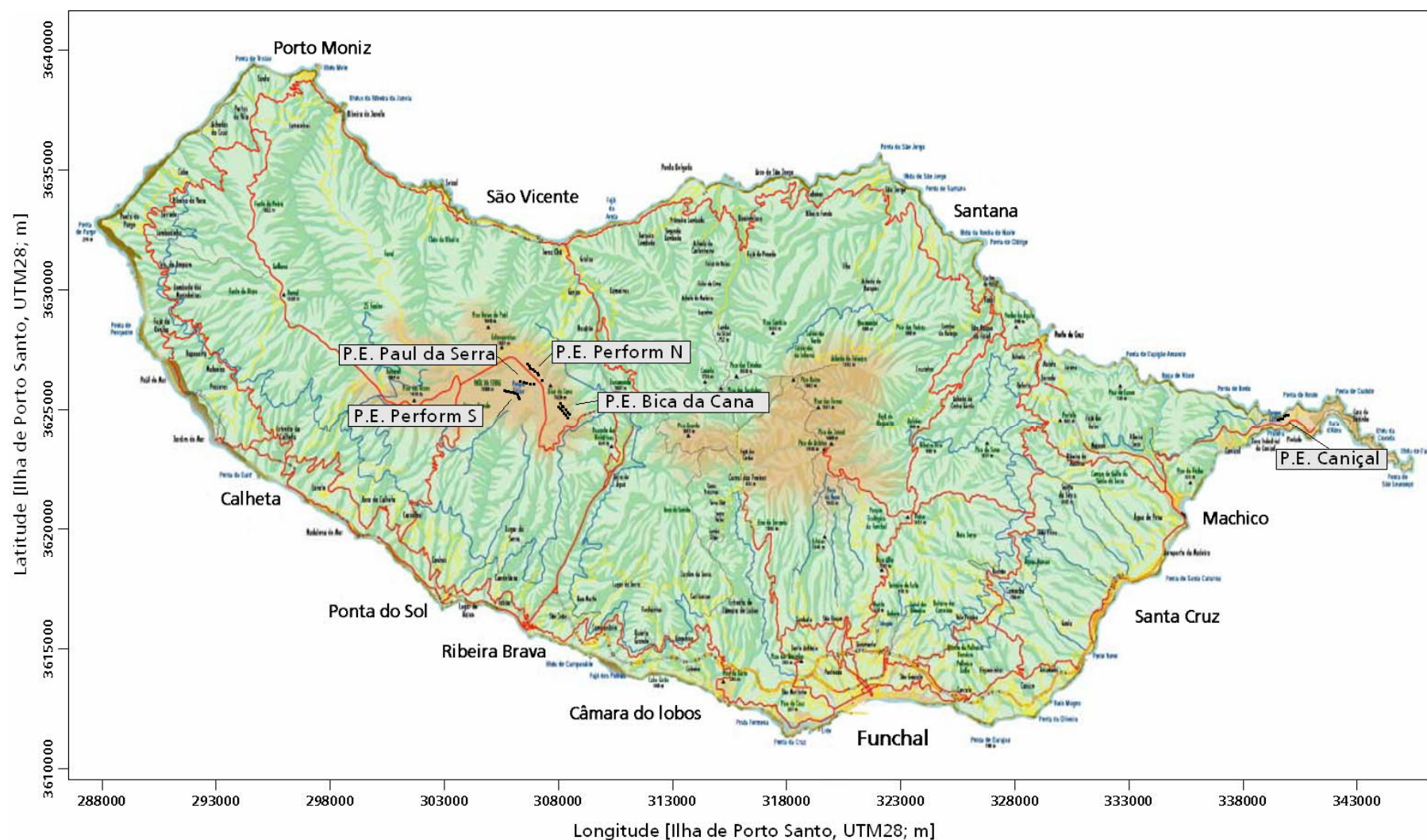
O presente estudo foi elaborado por solicitação da AREAM, Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, instituição que vem promovendo diversas acções visando o melhor conhecimento do regime de ventos na Ilha da Madeira, com vista à eventual construção de parques eólicos para a geração de energia eléctrica. O objectivo principal é pois o de caracterizar o potencial eólico de dois dos possíveis locais de implantação de um projecto deste tipo, designados por Fonte do Juncal e Pico Gordo.

As duas áreas em estudo situam-se uma no planalto do Paul da Serra, onde existem já alguns parques eólicos em operação e outros em fase de projecto, e a outra num local a poente da área planáltica, mas ainda próximo dela. Na figura 1 mostra-se um mapa da Ilha da Madeira e assinalam-se os parques eólicos ali em funcionamento.

A caracterização do potencial eólico nos locais em apreço é conseguida por recurso aos dados de vento recolhidos nas várias estações que operam no Paul da Serra, ao abrigo do protocolo estabelecido entre o INEGI e a AREAM. São também utilizados dados de outras estações, consideradas de referência, que operam ao abrigo do protocolo INEGI-ENEREEM (ENEREEM, Energias Renováveis, Lda, empresa do grupo EEM, Empresa de Electricidade da Madeira). Na figura 2 mostra-se a localização das estações de monitorização que operam na Ilha, assim como os terrenos em estudo e os projectos circundantes.

Atendendo a que a informação é escassa no que respeita à extensão, procurou-se alargar a representatividade temporal da informação, através de metodologias de correlação/extrapolação entre os registos recolhidos nas estações locais e outros, de período mais alargado, considerados de referência.

O método utilizado para o estabelecimento das correlações é o MCP, “Measure, Correlate and Predict”, numa variante especialmente adaptada para a utilização conjunta com o *software* de simulação empregue.



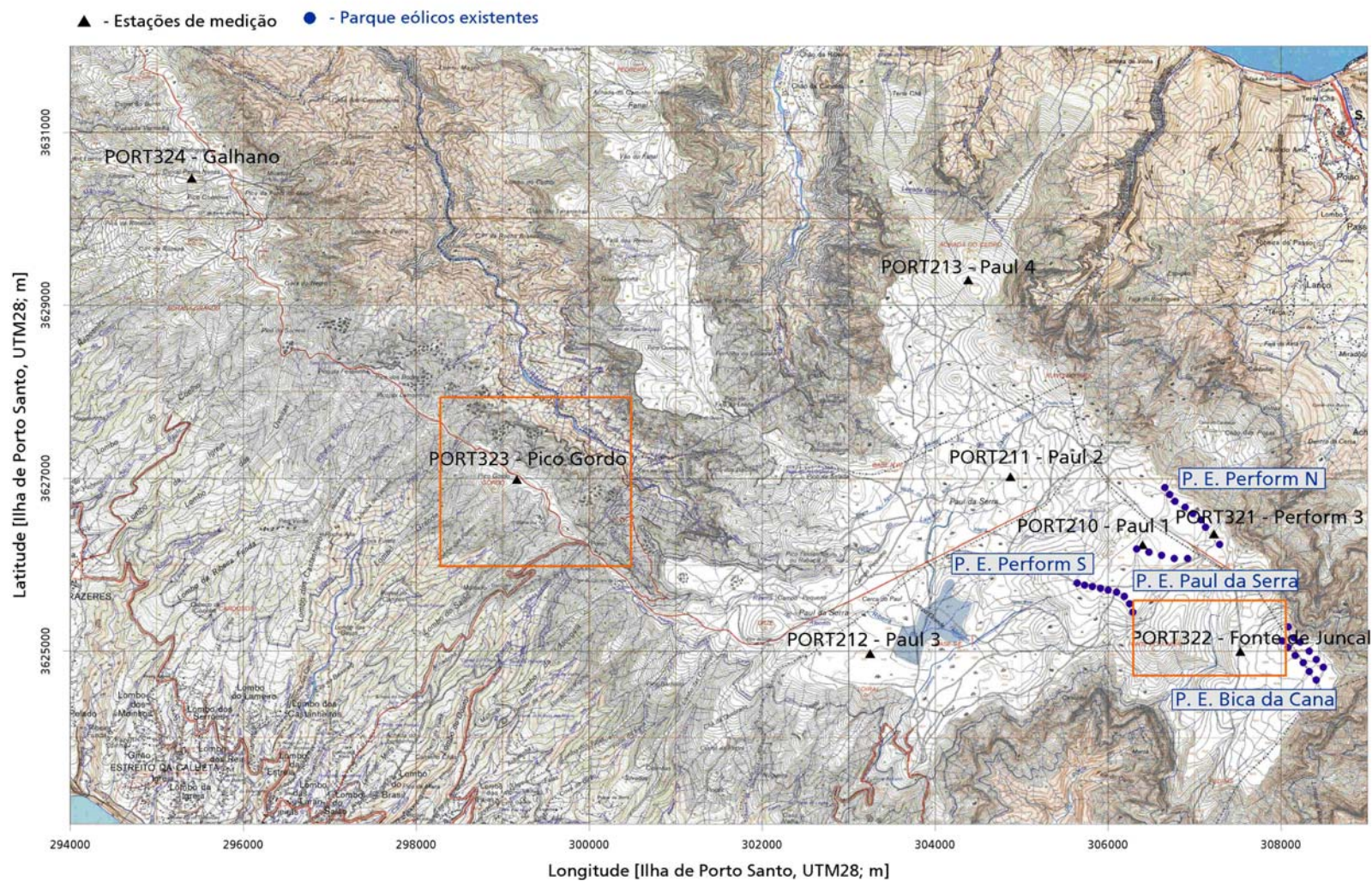


Figura 2 – Estações de medição, terrenos a estudar e projectos existentes

O enquadramento dos sítios em estudo na norma IEC 61400 – Parte 1 é tentado com base nos dados recolhidos nas estações locais. Para a determinação da velocidade máxima para um período de 50 anos é utilizada uma variante ao método de Gumbel clássico, especialmente adaptada aos aspectos particulares das séries temporais das características de vento.

A metodologia seguida, quer para a caracterização do regime de ventos, quer para a estimativa da produção anual do parque é, nos seus traços gerais, a preconizada no Atlas Europeu do Vento¹.

Recorreu-se nos cálculos ao programa *WAsP*², que inclui o modelo de efeito esteira *PARK*, ao programa *Surfer* (processamento da cartografia e mapeamento dos resultados) e a outras ferramentas informáticas desenvolvidas no Instituto.

¹ “European Wind Atlas”. Ib Troen and Erik Lundtang Petersen. 1998 Riso National Laboratory, Dinamarca.

² Wind Atlas Analysis and Application Program, Riso National Laboratory, Dinamarca.



Breve caracterização dos locais

O local que aqui se designou por Fonte do Juncal insere-se numa zona planáltica, situada na metade oeste da Ilha da Madeira. É das poucas zonas em toda a Ilha onde coexistem condições favoráveis à implantação de parques eólicos com disponibilidade de recurso, ausência de restrições severas de carácter ambiental, patrimonial e paisagístico, e compatibilidade com outras actividades. O sítio do Pico Gordo fica já ligeiramente fora da área planáltica, numa cumeada que se desenvolve a partir dela para Noroeste.

O planalto do Paul da Serra, com cerca de 24 km², caracteriza-se por uma altitude média rondando os 1500 metros, sendo o seu ponto mais elevado o lugar do Ruivo do Paul, com 1640 metros. É delimitado por pendentes acentuadas, sobretudo a Nordeste, mas também a Noroeste e a Sul. A cerca de 10 km de distância, para Nascente, situa-se o ponto mais elevado de toda a ilha, o Pico do Areeiro, com 1820 metros de altitude.

A zona é privilegiada no que se refere à potencialidade do seu recurso eólico, uma vez que as pendentes acentuadas propiciam a geração de fenómenos de aceleração do escoamento atmosférico, traduzindo-se na ocorrência de velocidades elevadas nas zonas de maior altitude. Essa mesma altitude, influenciando a massa volúmica do ar, constitui um factor desfavorável do ponto de vista da energia contida no vento.

Na figura 3 mostra-se, em vista tridimensional, o enquadramento da área em estudo na envolvente.

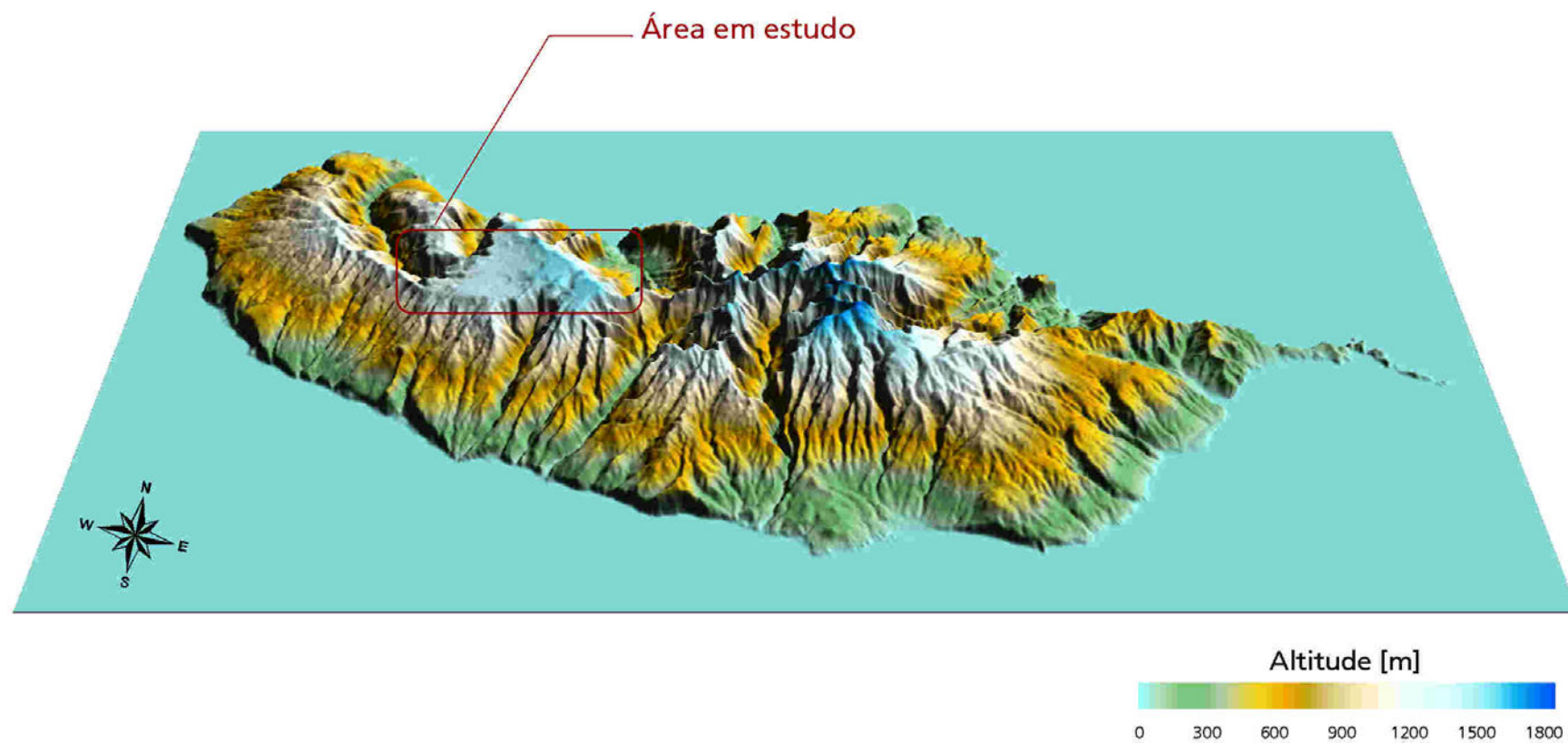


Figura 3 – Perspectiva tridimensional do relevo da Ilha da Madeira

No planalto do Paul existem já três parques eólicos: dois equipados com máquinas Nordtank de baixa potência, totalizando cerca de 2,5 MW de capacidade geradora, que iniciaram a produção de energia eléctrica em 1992, e um outro, mais recente (Agosto de 2003), equipado com cinco aerogeradores da marca Vestas, de 660 kW de potência unitária. A existência destes parques tem que ser considerada no desenvolvimento de qualquer projecto na área da Fonte do Juncal, evitando a instalação de novos aerogeradores em locais muito próximos aos de máquinas já existentes. De facto, esta situação levaria a que os aparelhos operassem na esteira uns dos outros, com consequências negativas, tanto ao nível da sua produtividade, como do seu tempo de vida. No Pico Gordo não há qualquer condicionante deste tipo.

A cobertura do solo em praticamente todo o Paul é composta, essencialmente, por vegetação rasteira e alguns maciços rochosos dispersos, enquadrando-se na Classe 1 do Atlas Europeu de vento, à qual foi atribuída uma rugosidade característica de 0,05 m. Foi diferenciada a rugosidade referente ao mar, tendo-se-lhe atribuído valor característico de 0 m. Sendo o escoamento atmosférico aqui fortemente condicionado pelo relevo, não se entendeu necessário um maior refinamento da descrição deste parâmetro.

Nos locais em estudo não foram identificadas ocorrências ambientais que condicionem decisivamente o seu uso para a colocação de aerogeradores, de acordo com a informação fornecida pelo Promotor.

A informação cartográfica que está na base dos cálculos efectuados para a determinação do recurso consiste num mapa em formato digital que abrange uma área de 800 km². Manteve-se, no intervalo de cotas entre os 0 e os 900 metros, um espaçamento entre linhas de 50 metros, e a partir dos 900 metros até à cota máxima (1820 metros) o detalhe máximo (10 metros). No Anexo I consta a representação do mapa empregue nos cálculos.

Uma característica dos terrenos com grande relevância para a instalação de parques eólicos é a eventual existência de pendentes acentuadas, podendo induzir alterações substanciais no ângulo de incidência do vento nos aerogeradores, prejudicando o seu funcionamento e afectando a sua durabilidade. Foram calculadas as pendentes numa malha regular de pontos espaçados de 10 metros, com vista a excluir do conjunto de locais onde se admite a possibilidade de instalar aerogeradores aqueles cuja inclinação exceda os 14°, considerando como o limite razoável para a instalação de turbinas. A figura 4 mostra os resultados desses cálculos, identificando as áreas de pendente excessiva.

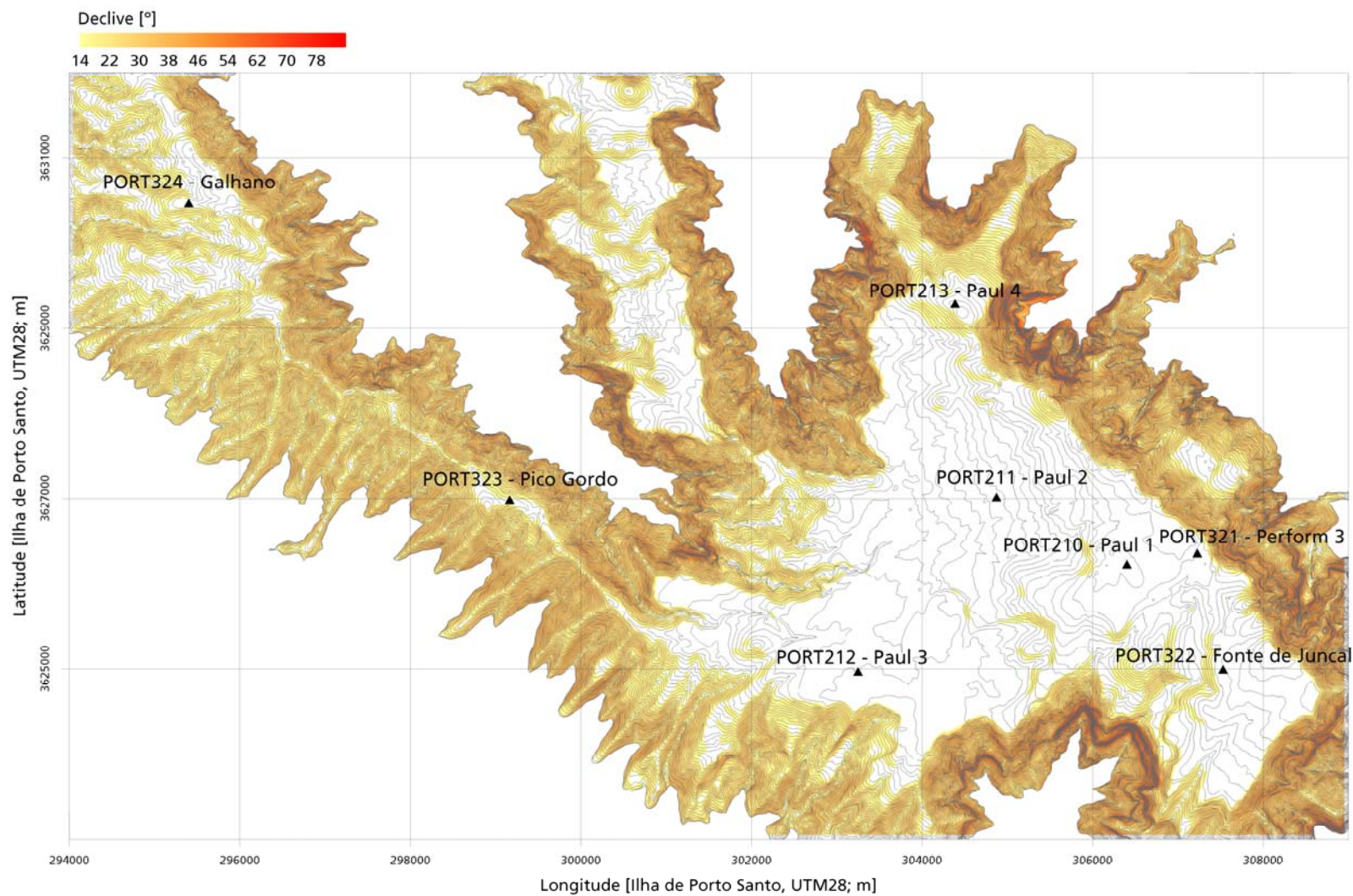


Figura 4 – Declives na zona do Paul da Serra

A complexidade do relevo pode ser avaliada recorrendo a um parâmetro denominado índice de complexidade, RIX (Ruggedness Terrain Index), definido como a percentagem da superfície, na área à volta de um sítio específico, que é mais complexa do que um terreno de referência em que o declive é crítico, no sentido em que provoque o descolamento do escoamento. O índice RIX é uma medida da extensão da separação do fluxo do vento e, por esse meio, da extensão em que o tipo de terreno viola os requisitos dos modelos lineares de previsão, tal como o usado pelo WAsP. Se o índice RIX está perto do zero, o terreno encontra-se claramente dentro dos limites de utilização do WAsP, enquanto o afastamento em relação ao zero pode induzir erros significativos.

A zona central do planalto é caracterizada por um índice RIX que não ultrapassa os 25 %, aumentando gradualmente até à zona periférica, onde atinge valores muito elevados, cerca de 55 %. A figura 5 ilustra a distribuição deste índice de complexidade na área em apreço.

Os valores de RIX são na globalidade muito elevados, destacando-se o local de Pico Gordo, com valores desse índice na ordem dos 46 %. Trata-se de um local de grande complexidade e próximo de pendentes muito acentuadas que configuram uma situação de maior dificuldade na caracterização do regime de ventos e do potencial eólico.

Mesmo em áreas de RIX elevado, onde se prevêem dificuldades no desempenho do modelo WAsP, têm sido discutidas situações procurando mostrar que, se entre o local das medições e o da previsão a diferença de complexidade for pequena, se podem conseguir resultados aceitáveis. É o que sucede no Pico Gordo onde, apesar da complexidade do relevo, a posição central da estação relativamente à área a estudar, cuja extensão é pequena, deverá permitir a caracterização do recurso com uma razoável fiabilidade.

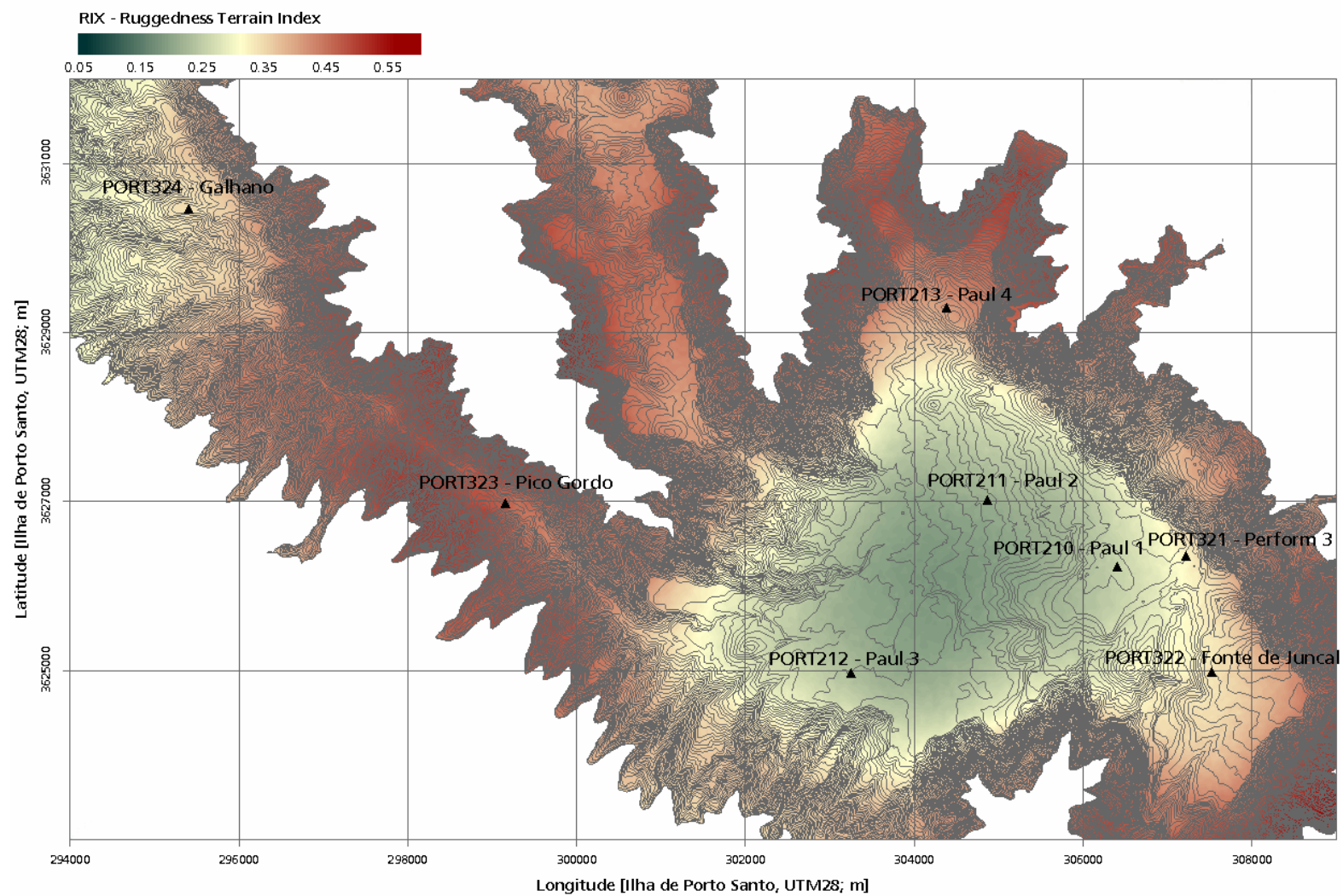


Figura 5– Complexidade do terreno (RIX)

3

Medições locais das características de vento

Encontram-se actualmente em operação na área do planalto do Paul da Serra sete estações de medição das características do vento (ver figura 2), ao abrigo de protocolos estabelecidos entre o INEGI e a ENEREEM, a AREAM e a empresa Perform3. Os dados dessas estações encontram-se disponíveis para utilização no presente estudo, tendo sido dada a devida autorização pelas partes envolvidas.

As estações iniciaram o seu funcionamento em duas fases distintas, sendo primeiramente equipadas as da ENEREEM, em 2001. Em Maio de 2005 foram instaladas as estações da AREAM e a da Perform3.

Na tabela 1 resumem-se as suas principais características.

Tabela 1 – Características das estações de monitorização do Paul da Serra

Proprietário	Designação da estação	Data de instalação	Localização [Datum Ilha de Porto Santo; UTM28; m]	Altitude [m]	Carta militar
ENEREEM	PORT210 - Paul 1	22-02-2001	(306 400, 3626 217)	1517	5M
	PORT211 - Paul 2	22-02-2001	(304 871, 3627 004)	1466	5M
	PORT212 - Paul 3	22-02-2001	(303 248, 3624 954)	1410	5M
	PORT213 - Paul 4	29-07-2002	(304 385, 3629 278)	1542	5M
Perform3	PORT321 - Perform 1	25-04-2005	(307 225, 3626 343)	1570	5M
AREAM	PORT322 - Fonte do Juncal	25-04-2005	(307 528, 3624 978)	1569	5M
	PORT323 - Pico Gordo	25-04-2005	(299 162, 3626 973)	1224	4M
	PORT324 - Galhano	25-04-2005	(295 402, 3630 456)	1200	1M

Na figura 6 mostra-se a extensão dos conjuntos de informação com a indicação da disponibilidade de dados em cada mês. Além das sete estações em funcionamento estão disponíveis os dados de PORT210, esta já fora de serviço.

	2001												2002												2003													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec		
PORT210	-	39	100	100	100	100	93	96	100	60	47	100	100	100	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
PORT211	-	-	29	99	99	99	93	99	100	100	100	100	97	100	98	100	48	56	88	98	40	100	42	95	98	99	99	99	99	100	100	100	100	100	97	100	99	99
PORT212	-	44	99	100	100	99	43	59	100	98	99	100	98	100	100	100	50	0	75	100	100	100	100	99	99	100	98	100	99	100	100	56	100	100	98	99	99	
PORT213	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
PORT321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PORT322	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PORT323	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PORT324	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

	2004												2005												2006													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec		
PORT210	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PORT211	98	97	98	100	100	98	0	86	100	99	99	100	99	100	100	99	100	100	99	100	100	100	98	100	100	100	100	95	0	89	100	-	-	-	-	-	-	
PORT212	100	98	99	100	100	100	100	100	99	40	99	100	100	100	98	100	100	100	100	100	38	100	97	99	100	100	100	95	100	100	40	-	-	-	-	-	-	
PORT213	100	100	100	100	100	100	100	100	100	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
PORT321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
PORT322	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
PORT323	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
PORT324	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	83	83	88	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Figura 6 – Informação disponível nas estações instaladas no Paul da Serra

No que respeita ao programa de medições, as grandezas medidas são a velocidade e a direcção do vento, a duas alturas do solo. Em algumas das estações são também medidas a temperatura ambiente, a pressão atmosférica e a humidade.

Todas as grandezas são lidas com uma frequência de 0,5 Hz, sendo os seus valores armazenados sob a forma de médias verificadas em intervalos de 10 minutos. No caso da velocidade são ainda armazenados o desvio padrão e o valor máximo ocorrido em cada um desses intervalos.

Na tabela 2 resume-se a configuração de cada estação assim como o modelo de sistema de recolha e aquisição de dados (*data logger*) e o modo de acesso e recolha de dados.

Tabela 2 – Configuração das estações de monitorização no Paul da Serra

Designação da estação	Data Logger (Fabricante / Modelo)	Recolha de dados	Sensores - Altura de instalação [m]				
			Velocidade	Direcção	Temperatura	Humidade	Pressão
PORT210 - Paul 1	NRG Systems/ 9200 Plus	No local	40 e 20	40 e 20	12	-	-
PORT211 - Paul 2	NRG Systems/ 9200 Plus	No local	40 e 20	40 e 20	-	-	-
PORT212 - Paul 3	NRG Systems/ 9200 Plus	No local	40 e 20	40 e 20	-	-	-
PORT213 - Paul 4	AMMONIT / Meteo 32	Via GSM	40 e 20	40 e 20	12	-	-
PORT321 - Perform 1	AMMONIT / Meteo 32	Via GSM	60 e 30	60 e 30	12	12	12
PORT322 - Fonte do Juncal	AMMONIT / Meteo 32	Via GSM	60 e 30	60 e 30	12	12	12
PORT323 - Pico Gordo	AMMONIT / Meteo 32	Via GSM	60 e 30	60 e 30	12	12	12
PORT324 - Galhano	AMMONIT / Meteo 32	Via GSM	40 e 20	40 e 20	-	-	-

Nas secções seguintes resumem-se os resultados e dão-se alguns detalhes das campanhas de medição das duas estações em operação nas áreas em estudo: PORT322 – Fonte do Juncal e PORT323 – Pico Gordo.

PORT322 – Fonte do Juncal

O período de dados seleccionado para caracterizar o regime de ventos no local de PORT322 é de um ano, entre Setembro de 2005 e Agosto de 2006. Durante o período de medição em análise a disponibilidade de dados é total em ambos os níveis de medição. Os resultados detalhados correspondentes ao período reportado são incluídos no Anexo II. Na tabela 3 representam-se os resultados globais.

Tabela 3 – Resultados das medições em PORT322 – Fonte do Juncal
Dados de Set05 a Ago06

PORT322 - Fonte do Juncal			
Altura de medição [m]		60	30
Número de dias medidos		365	
Disponibilidade [%]		100	100
Velocidade média [m/s]		7.3	6.7
Distribuição de Weibull	A [m/s]	8.3	7.6
	k	1.84	1.83
Intensidade turb. ($V > 5$ m/s) [m/s]		11.5	12.6
Intensidade turb. ($14 \leq V < 15$ m/s) [m/s]		12.8	14.4
Velocidade máxima [m/s]		30.2	27.9
Rajada máxima [m/s]		41	39
Potência ($\rho = 1.225$ kg/m ³) [W/m ²]		503	393
Temperatura [°C]		9.6	
Pressão [Pa]		84 871	
Humidade [%]		76.6	

A velocidade média do vento foi de 7,3 m/s e 6,7 m/s, a 60 e a 30 metros do solo, respectivamente. A velocidade máxima em períodos de 10 minutos foi de 30,2 m/s, registada no mês de Outubro de 2005. A rajada máxima ocorreu também no mês de Outubro e foi de 41 m/s. O fluxo de potência foi de 503 W/m².

A intensidade de turbulência média, para velocidades superiores a 5 m/s, a 60 metros do solo, foi de 11,5 %. O mesmo parâmetro para velocidades na gama dos 15 m/s foi de 12,8 %.

A temperatura média registada foi de 9,6 °C, a humidade média foi de 76,6 % e a pressão atmosférica de 84 871 Pa.

A variação da velocidade média mensal e do fluxo de potência disponível no vento, para o período em análise, é apresentada na figura 7, onde se destaca o menor potencial dos meses de Verão.

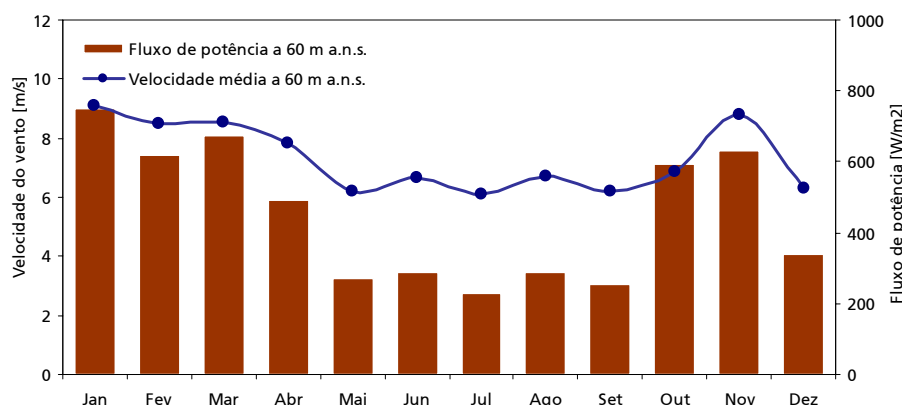


Figura 7 – Velocidade e fluxo de potência, médias mensais, em PORT322
Dados de Set05 a Ago06, 100 % disponibilidade

Na figura 8 mostram-se os valores médios horários da velocidade e da potência disponível no vento, para as épocas de Verão e Inverno³. A época de Inverno é claramente mais ventosa que a de Verão. O padrão de variação da velocidade, e também o do fluxo de potência, é muito semelhante nas duas épocas.

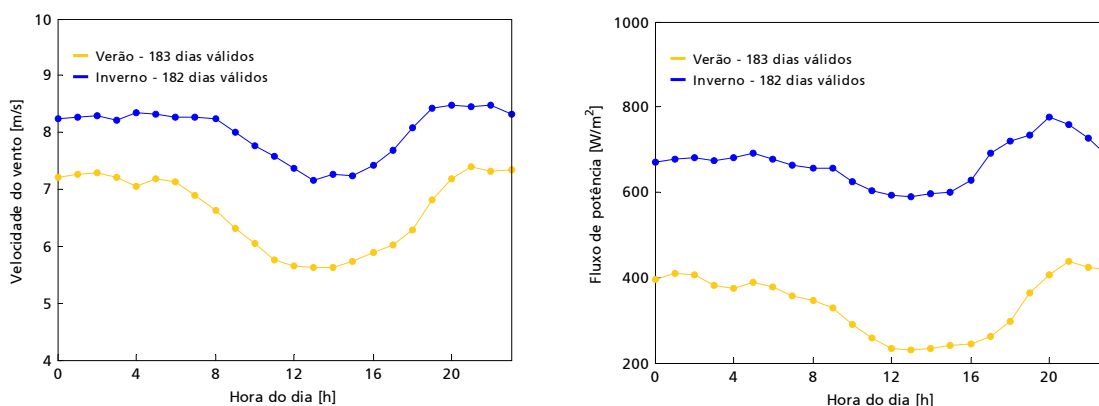


Figura 8 – Padrão diário do vento em PORT322 – Fonte de Juncal
Dados de Set05 a Ago06, 100 % disponibilidade

³ Considera-se, para este efeito, como Verão o período decorrente entre 21 de Março e 20 de Setembro, e Inverno a parte restante do ano.

Na figura 9 mostram-se a rosa-dos-ventos e o histograma de velocidade, obtidos a partir das medições efectuadas a 60 metros do solo. A distribuição de Weibull que melhor se adequa ao histograma no período em análise é caracterizada pelo factor de escala (A) de 8,3 m/s e por um factor de forma (k) de 1,84. Nota-se, na rosa-dos-ventos, a predominância evidente dos sectores Nordeste e Nor-Nordeste.

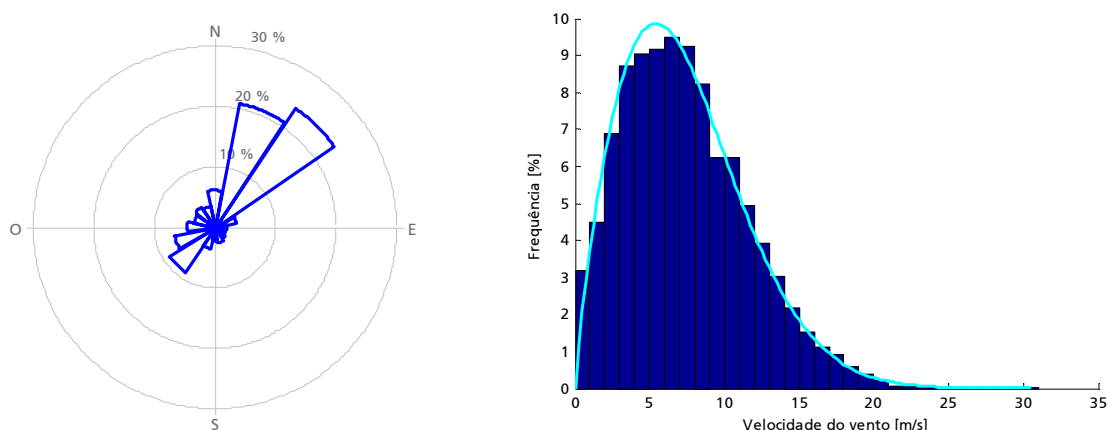


Figura 9 – Rosa-dos-ventos e histograma de velocidades em PORT322 – Fonte de Juncal
Dados de Set05 a Ago06, 100 % disponibilidade

A figura 10 ilustra as velocidades médias registadas e a percentagem da energia disponibilizada pelo escoamento em cada um dos sectores da rosa-dos-ventos. Verifica-se que os rumos Nordeste são, além dos mais frequentes, os mais energéticos.

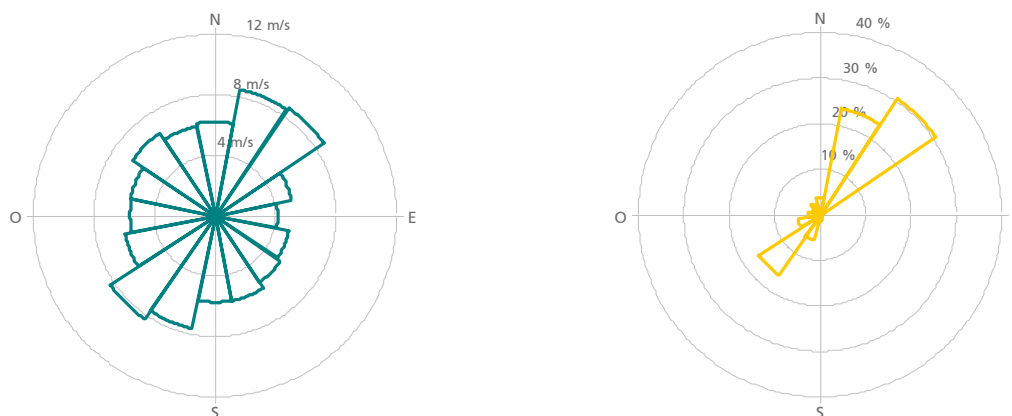


Figura 10 – Velocidade e energia disponível por sector em PORT322 – Fonte de Juncal
Dados de Set05 a Ago06, 100 % disponibilidade

Na figura 11 representam-se os expoentes do perfil de velocidades registados nos dezasseis sectores da rosa-dos-ventos e a forma dos perfis de velocidades global e para o sector mais energético.

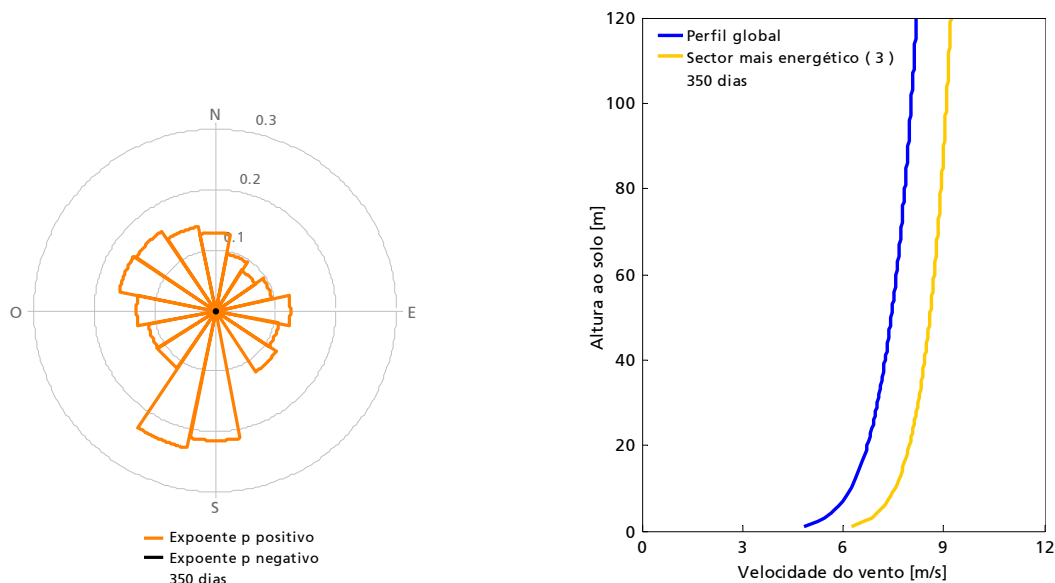


Figura 11 – Perfil de velocidades em PORT322 – Fonte de Juncal
Dados de Set05 a Ago06, 96 % disponibilidade

O expoente do perfil da velocidade toma, em termos globais, o valor de 0,11, e para o sector Nordeste, o mais energético, 0,08. Destaca-se o perfil aberto nos sectores 9 e 10, facto que poderá ser associado ao baixo número de ocorrências registado nesses sectores e a alguma especificidade do terreno. Nos restantes sectores os perfis estão de acordo com o esperado para o local em causa, não se verificando qualquer inversão do perfil.

PORT323 – Pico Gordo

A informação recolhida em PORT323 entre Setembro de 2005 e Agosto de 2006, com uma disponibilidade de 88 %, foi seleccionada para servir de referência à caracterização do regime de ventos no local de medição.

Os resultados das medições correspondentes ao período reportado detalham-se no Anexo III. Na tabela 4 representam-se os resultados globais do ano de medição.

Tabela 4 – Resultados das medições em PORT323 – Pico Gordo
Dados de Set05 a Ago06

PORT323 - Pico Gordo			
Altura de medição [m]		60	30
Número de dias medidos		365	
Disponibilidade [%]		88	88
Velocidade média [m/s]		7.3	6.9
Distribuição de Weibull	A [m/s]	7.9	7.2
	k	1.33	1.25
Intensidade turb. ($V > 5$ m/s) [m/s]		13.2	13.9
Intensidade turb. ($14 \leq V < 15$ m/s) [m/s]		12.6	12.5
Velocidade máxima [m/s]		34.2	35.3
Rajada máxima [m/s]		42.0	41.7
Potência ($\rho = 1.225$ kg/m ³) [W/m ²]		763	707
Temperatura [°C]		10.1	
Pressão [Pa]		88 318	
Humidade [%]		89.0	

A velocidade média do vento foi de 7,3 m/s a 60 metros do solo e 6,9 m/s a 30 metros. A rajada máxima ocorreu em Janeiro de 2006 e foi de 42,0 m/s. O valor máximo da velocidade média em períodos de dez minutos foi de 34,2 m/s e registou-se no mês de Fevereiro de 2006. O fluxo de potência foi de 763 W/m², valor muito elevado.

A intensidade de turbulência média, para velocidades superiores a 5 m/s, a 60 metros do solo, foi de 13,2 %. O mesmo parâmetro para velocidades na gama dos 15 m/s foi de 12,6 %.

A temperatura média anual registada foi de 10,1 °C, a humidade média foi de 89,0 % e a pressão atmosférica de 88 318 Pa.

A variação da velocidade média mensal e do fluxo de potência disponível no vento, para o período em análise, é apresentada na figura 12, onde se destaca o menor potencial dos meses de Verão.

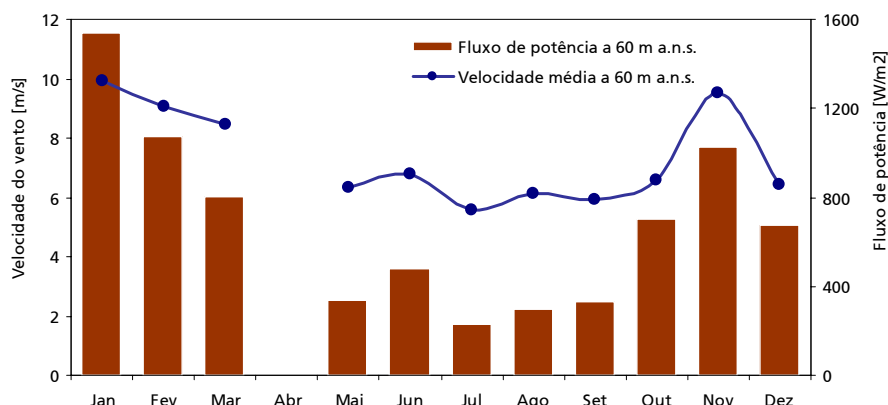


Figura 12 – Velocidade e fluxo de potência, médias mensais, em PORT323
Dados de Set05 a Ago06, 88 % disponibilidade

Na figura 13 mostram-se os valores médios horários da velocidade e da potência disponível no vento, para as épocas de Verão e Inverno. Também nesta estação o padrão de variação da velocidade e do fluxo de potência é semelhante nas duas épocas, sendo igualmente evidente a maior intensidade do regime no Inverno.

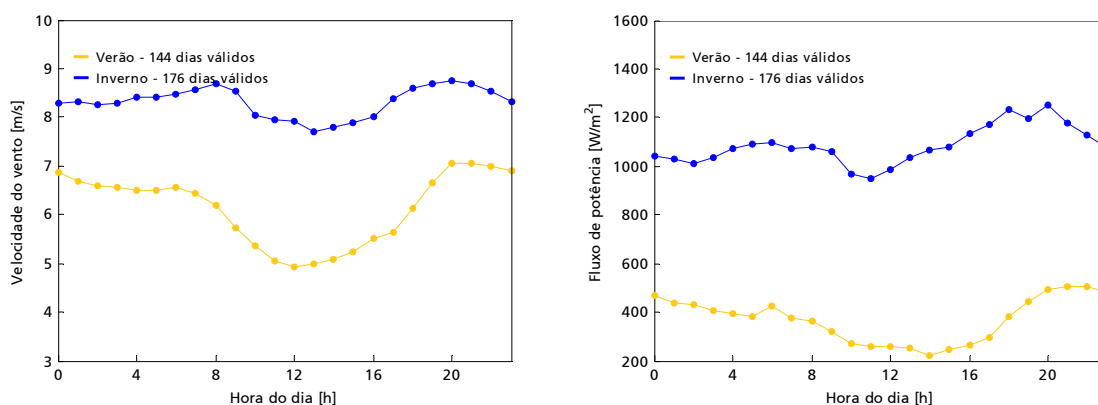


Figura 13 – Padrão diário do vento em PORT323 – Pico Gordo
Dados de Set05 a Ago06, 88 % disponibilidade

Na figura 14 mostram-se a rosa-dos-ventos e o histograma de velocidade, obtidos a partir das medições efectuadas a 60 metros do solo. Os sectores Nordeste e Nor-Nordeste são claramente predominantes.

A distribuição de Weibull que melhor se adequa ao período em análise é caracterizada pelo factor de escala (A) de 7,9 m/s e por um factor de forma (k) de 1,33. Trata-se de uma distribuição pouco centrada em torno do valor médio da velocidade, com ocorrências de velocidades bastante elevadas e uma frequência pouco habitual de ocorrências de muito baixa velocidade (0 a 2 m/s).

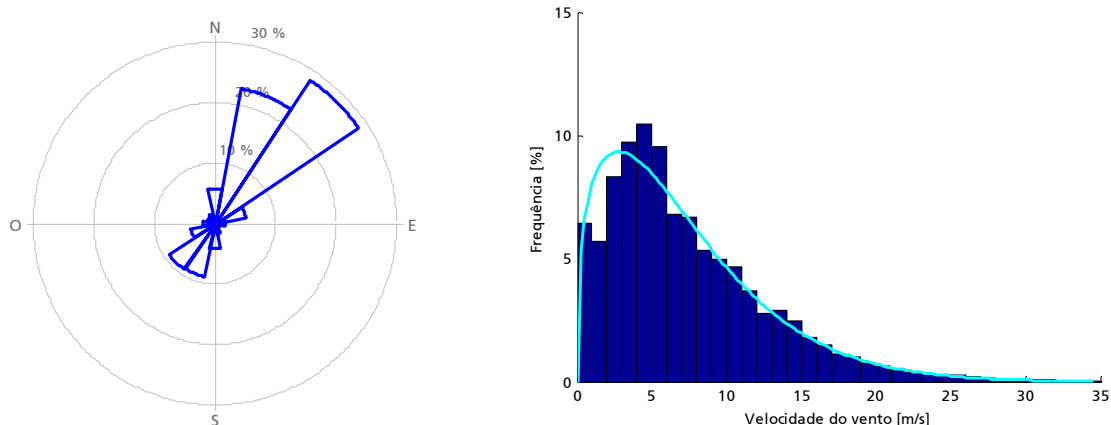


Figura 14 – Rosa-dos-ventos e histograma de velocidades em PORT323 – Pico Gordo
Dados de Set05 a Ago06, 88 % disponibilidade

A figura 15 mostra a média das velocidades registadas e a percentagem da energia disponibilizada pelo escoamento em cada um dos sectores da rosa-dos-ventos. Verifica-se que o sector mais persistente é o de maior componente energética e o que regista a velocidade média mais elevada.

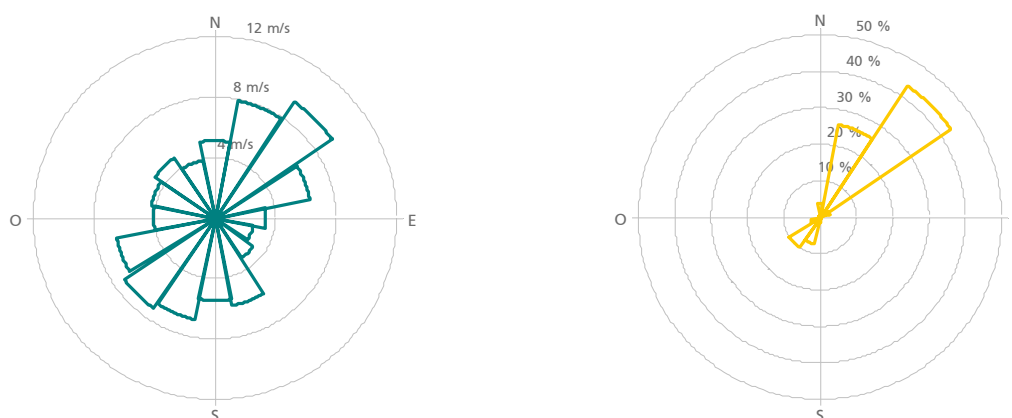


Figura 15 – Velocidade e energia disponível por sector em PORT323 – Pico Gordo
Dados de Set05 a Ago06, 88 % disponibilidade

Na figura 16 representam-se os expoentes do perfil de velocidades registados nos dezasseis sectores da rosa-dos-ventos e a forma dos perfis de velocidades global e para o sector mais energético.

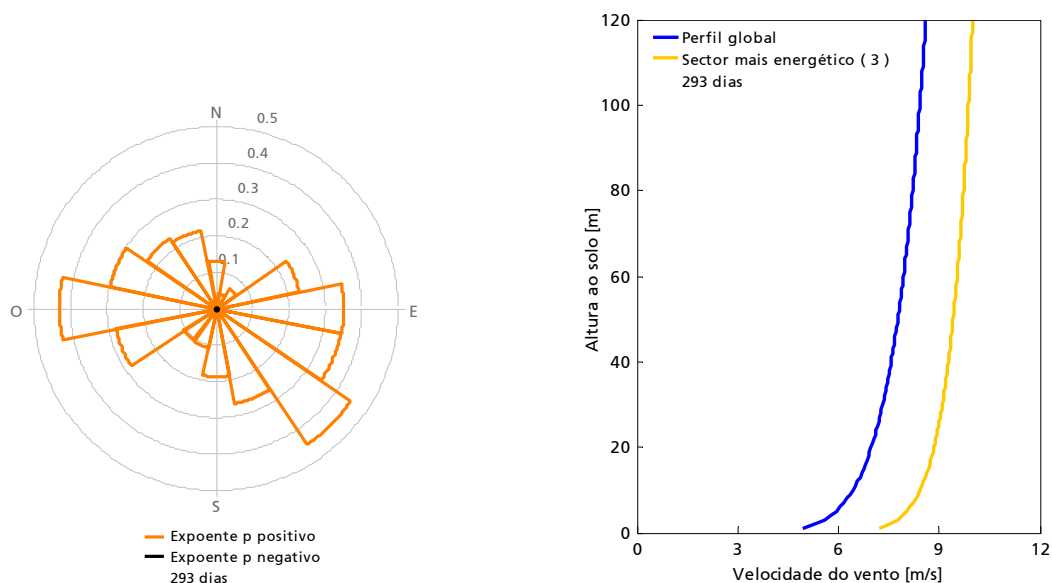


Figura 16 – Perfil de velocidades em PORT323 – Pico Gordo
Dados de Set05 a Ago06, 80 % disponibilidade

Os sectores alinhados segundo o eixo Este/Oeste e o sector Sudeste apresentam um expoente do perfil de velocidades mais elevado. O facto não suscita grande preocupação, uma vez que estes sectores não são representativos em termos de ocorrências. O perfil global e o do sector mais energético são caracterizados por um expoente p de 0,12 e 0,07, respectivamente.

4

Desempenho do modelo de escoamento

Por forma a verificar a adequação do ajuste do modelo de escoamento atmosférico utilizado, o WAsP, às características do vento identificadas nos locais de medição, foram efectuados alguns testes. É conhecida a dificuldade do modelo, como a de outros de idêntica fundamentação teórica, em lidar com relevos de complexidade elevada, o que condiciona a sua utilização em condições como as que aqui se apresentam. Mesmo a reprodução das características do vento no local das medições pode incorrer em algumas dificuldades, pelo que se entendeu importante efectuar esta verificação. Dos seus resultados podem ser extraídas indicações para eventuais correcções aos resultados finais.

A validação dos resultados foi efectuada de duas formas distintas: auto-previsão do regime de ventos no local e análise da reprodução da variação vertical da velocidade do vento.

Nos exercícios mencionados foram utilizadas as séries de dados empregues na caracterização do regime de ventos das duas estações, conforme o capítulo anterior.

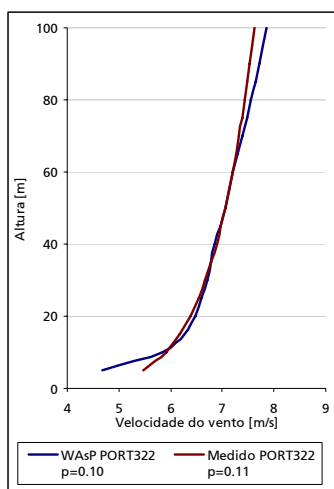
Como termo de comparação utilizou-se, além de alguns parâmetros característicos do regime de ventos, a produção de um aerogerador caso estivesse instalado no local da estação e a funcionar durante o respectivo período de operação. Como modelo de aerogerador de referência tomou-se um de 1000 kW de potência nominal, dentro da gama que se admite possa ser a dos geradores a instalar num eventual parque.

Variação vertical da velocidade do vento

A qualidade da reprodução da variação vertical da velocidade do vento para o local das estações foi estudada comparando o perfil de velocidades estimado pelo modelo WAsP e o calculado com base nas medições efectuadas aos dois níveis.

Neste exercício foi empregue o mapa descrito no Anexo I e os conjuntos de dados antes mencionados. Os resultados representam-se na figura 17.

PORT322 – Fonte Juncal



PORT323 – Pico Gordo

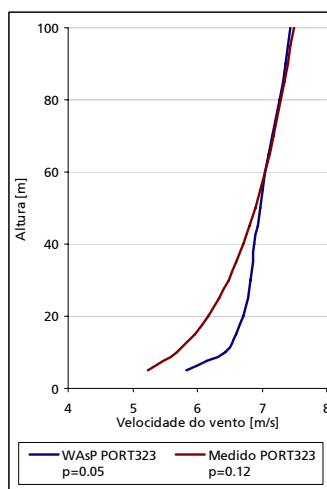


Figura 17 - Perfil vertical de velocidade nas estações locais

Para o local de PORT322 a reprodução do perfil vertical de velocidades é muito próxima da medida para alturas superiores a 10 m a.n.s.. Também em Pico Gordo, apesar da dificuldade evidente em reproduzir o perfil próximo o solo, a partir dos 50 m o modelo tem um bom desempenho.

Auto-previsão

Para servir de base ao exercício de auto-previsão do regime de ventos foram utilizadas as séries de dados empregues na sua descrição, Setembro de 2005 a Agosto de 2006. O mapa é o descrito no Anexo I. Os resultados apresentam-se nas figuras de 18 a 19. Nas mesmas figuras estão também ilustrados os resultados da auto-previsão em termos da rosa-dos-ventos, assinalando-se a vermelho as previsões por excesso e a verde as previsões por defeito.

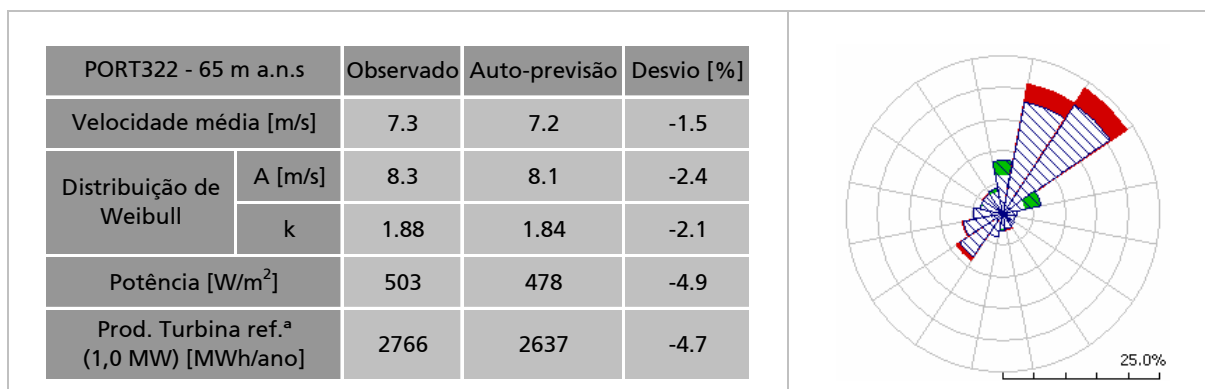


Figura 18 - Resultados da auto-previsão em PORT322 – Fonte de Juncal
Dados de Set05 a Ago06, 100 % disponibilidade

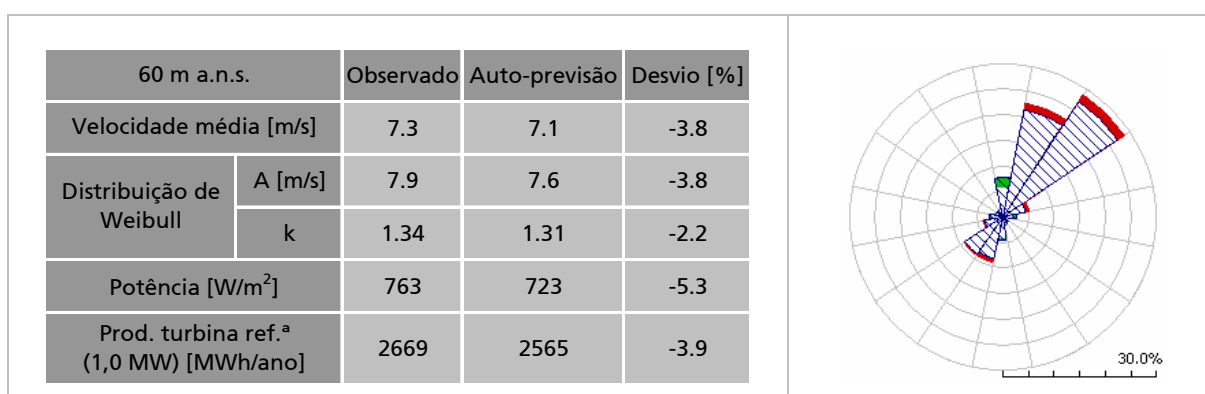


Figura 19 - Resultados da auto-previsão em PORT323 – Pico Gordo
Dados de Set05 a Ago06, 88 % disponibilidade

Os valores observados e previstos apresentam algumas diferenças. Em termos de velocidade média o erro situa-se entre os -1,5 % e os -3,8 %, e o determinado para o fluxo de potência ronda os -5,0 %. Na produção de referência o erro varia entre -3,9 % e os -4,7 %. Verifica-se pois que, utilizando o modelo WAsP nos cálculos, os resultados surgem subvalorizados. As diferenças encontradas devem-se, sobretudo, às deficiências do ajustamento da função de Weibull às séries de dados, e deverão ser tidas em consideração nas estimativas de recurso e da produção de aerogeradores na área circundante a cada estação.

Página em branco

5

Regime de ventos

Extensão da representatividade das séries de dados

Um factor determinante na qualidade e fiabilidade dos resultados de um estudo de caracterização de potencial eólico de um determinado lugar é a extensão do conjunto de dados disponível. Quanto mais dilatado for o período de dados mais rigorosa será a caracterização do regime de ventos e mais se aproximará de uma situação de longo termo.

Para caracterizar o regime de ventos no local de PORT322 e PORT323 foi utilizado um período de apenas um ano de dados, o que está disponível, insuficiente para a caracterização do recurso, atendendo a que não se incluem os fenómenos de variabilidade inter-anual.

A informação recolhida nestas estações não permite pois caracterizar o regime de longo termo, pelo que o aumento da sua representatividade através de processos de correlação com os dados de outras estações, nomeadamente das estações PORT211 e PORT212, reduzirá os níveis de incerteza associados ao estudo.

O método seleccionado para o estabelecimento da correlação foi o MCP, “Measure, Correlate and Predict”, numa versão especialmente adaptada para a utilização conjunta com o *software* WAsP.

Para a utilização do método MCP deverão ser respeitadas duas premissas relativas ao conjunto de dados que está na base do estabelecimento das correlações: (1) deverá ter uma duração múltipla da anual e (2) as distribuições de ocorrências por sectores da rosa-dos-ventos deverão ser semelhantes na estação alvo e na de referência. As estações devem ainda estar na mesma zona climática.

Como se poderá ver adiante, numa das situações a metodologia conduziu a erros significativos, não tendo, por isso, sido utilizados os seus resultados. Nesse caso optou-se por fazer uma análise de outro tipo à representatividade da série de dados. Essa análise

terá como base metodologias baseadas em correlações lineares das velocidades registadas na estação local e as observadas nas estações de referência.

O método da correlação linear apenas permite estimar as velocidades médias. No que se segue considera-se pois que os registos de direcção recolhidos no período de funcionamento das estações locais são representativos de longo termo.

Correlações de PORT322 – Fonte do Juncal

Período simultâneo

A variação da velocidade média mensal durante o período de funcionamento simultâneo na estação local, PORT322, e das duas estações de referência, Maio de 2005 a Agosto de 2006, é mostrada na figura 20. Nas mesmas figuras representam-se a suas correlações lineares.

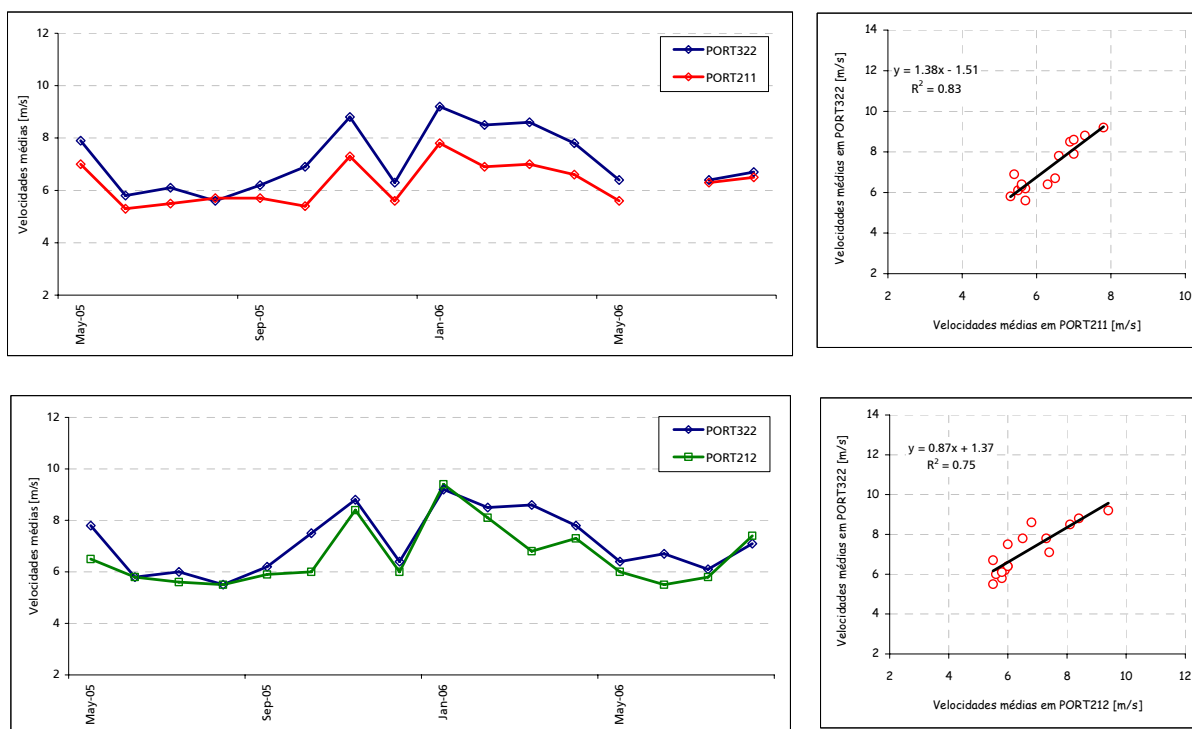


Figura 20 - Variação da velocidade média mensal. Correlação linear
Dados de Mai05 a Ago06 – 92 % de disponibilidade

Verifica-se que a estação local regista valores na velocidade média mensal sistematicamente superiores aos registados nas duas estações de referência. O andamento das velocidades médias mensais é, nos dois casos, semelhante. O valor de R^2

obtido para a correlação entre PORT322 e PORT211, 0,83, é superior ao conseguido entre PORT322 e PORT212, 0,75.

O período de dados simultâneo para a realização das correlações pela metodologia MCP é o compreendido entre Setembro de 2005 e Agosto de 2006.

Na figura 21 mostram-se as rosas-dos-ventos observadas durante esse período. Nota-se em todos os casos uma predominância dos ventos no sector 3.

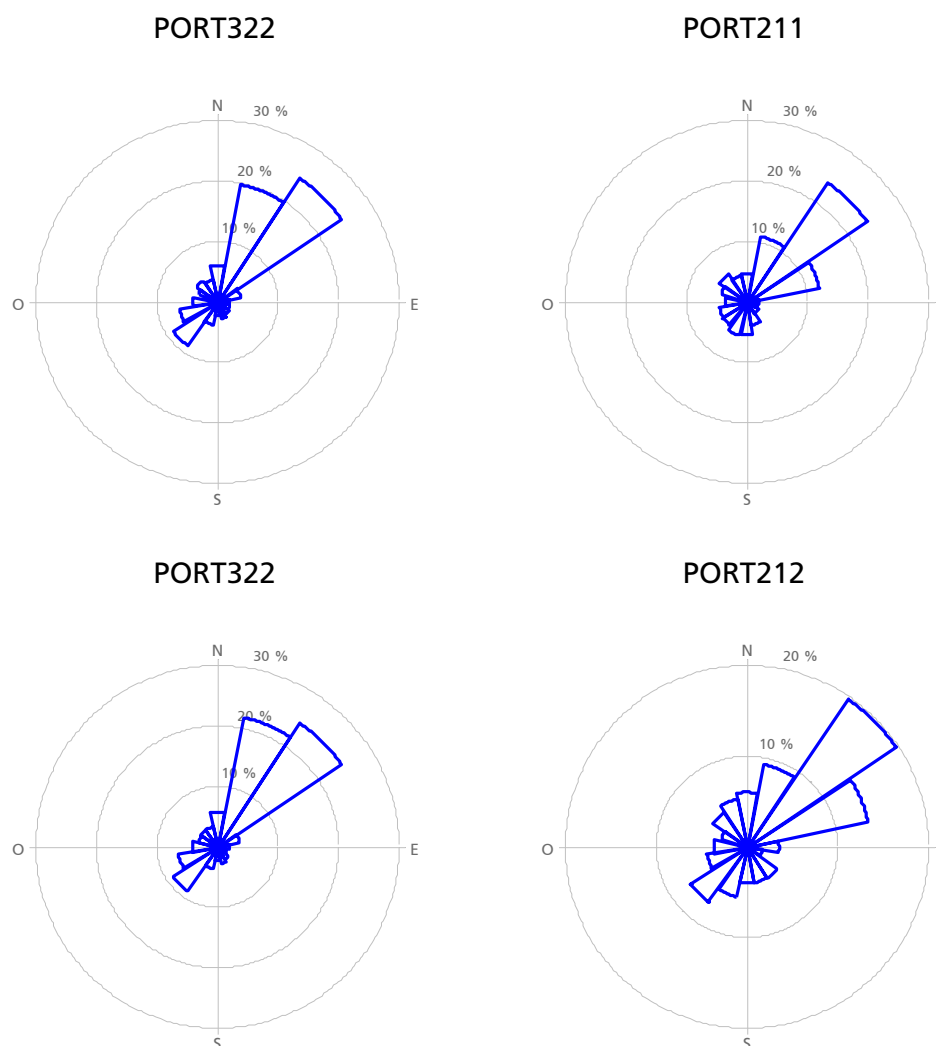


Figura 21 - Rosas-dos-ventos no período de funcionamento simultâneo entre estações
Dados de Set05 a Ago06 – 90 % e 89 % de disponibilidade

Validação das correlações

A validação das correlações foi efectuada através da previsão do regime de ventos no local da estação meteorológica para o período simultâneo e posterior comparação com o efectivamente observado.

As rosas de energia observadas e previstas encontram-se representadas na figura 22. Nas tabelas 5 e 6 encontram-se os principais parâmetros dos regimes de vento observados e previstos e os desvios percentuais da previsão face ao medido.

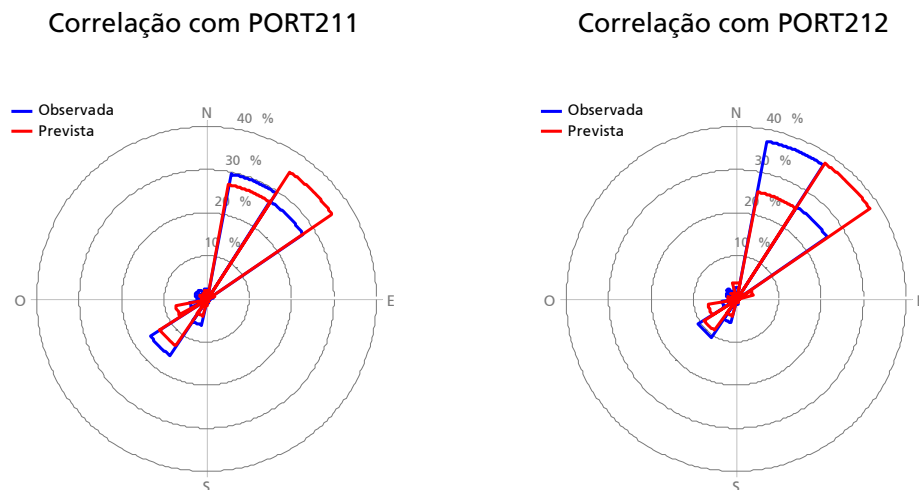


Figura 22 - Rosas de energia observada e prevista para PORT322
Dados de Set05 a Ago06– 90 % e 89 % de disponibilidade

As rosas de energia obtidas por extrapolação conseguem, de uma forma geral, reproduzir o observado localmente, com uma ligeira distorção nos sectores 2 e 3, sobretudo na correlação com PORT212.

Tabela 5 - Qualidade da correlação entre PORT322 e PORT211
Dados de Set05 a Ago06- 90 % de disponibilidade

PORT322			Observado	Estimados com PORT211	Desvio [%]
60 m a.n.s.	Velocidade média [m/s]		7.5	7.9	4.5
	Distribuição de Weibull	A [m/s]	8.5	8.9	4.7
		k	1.87	1.91	2.1
	Potência [W/m²]		535	599	12.0
	Prod. turbina ref. ^a (1,0 MW) [MWh/ano]		2748	2993	8.9

Tabela 6 - Qualidade da correlação entre PORT322 e PORT212
Dados de Set05 a Ago06 - 89 % de disponibilidade

PORT322			Observado	Estimados com PORT212	Desvio [%]
60 m a.n.s.	Velocidade média [m/s]		7.6	7.8	3.2
	Distribuição de Weibull	A [m/s]	8.6	8.8	2.3
		k	1.96	2.03	3.6
	Potência [W/m ²]		525	556	5.9
	Prod. turbina ref. ^a (1,0 MW) [MWh/ano]		2779	2940	5.8

O regime de ventos previsto para o local de PORT322 a partir dos resultados da correlação com os dados recolhidos nas estações de referência surge distorcido do real com uma sobrestimava da produção do aerogerador de referência de 8,9 % e 5,8 %, utilizando as estações de referência PORT211 e PORT212, respectivamente. Também nos outros parâmetros surgem diferenças não desprezáveis, denotando a dificuldade de correlacionar o regime de ventos deste local com outros.

Apesar de serem desvios significativos, à falta de melhor alternativa será utilizado o resultado do exercício de correlação com PORT212, que possui um desvio menor, uma vez que ao período obtido por extrapolação será adicionada a série de dados efectivamente medida, reduzindo esta margem de erro.

Regime médio de ventos em PORT322

Com base na correlação efectuada entre PORT322 e PORT212 e nos dados recolhidos nesta última foi possível estender a representatividade do regime de ventos em PORT322 para 5 anos.

A construção da descrição do regime de ventos para PORT322 com 5 anos de representatividade foi conseguida através da conjugação da informação obtida por correlação, referente ao período compreendido entre Setembro de 2001 e Abril de 2005, e da recolhida localmente entre Maio de 2005 e Agosto de 2006.

Os valores dos principais parâmetros caracterizadores são mostrados na tabela 7 e nas figuras 23 e 24.

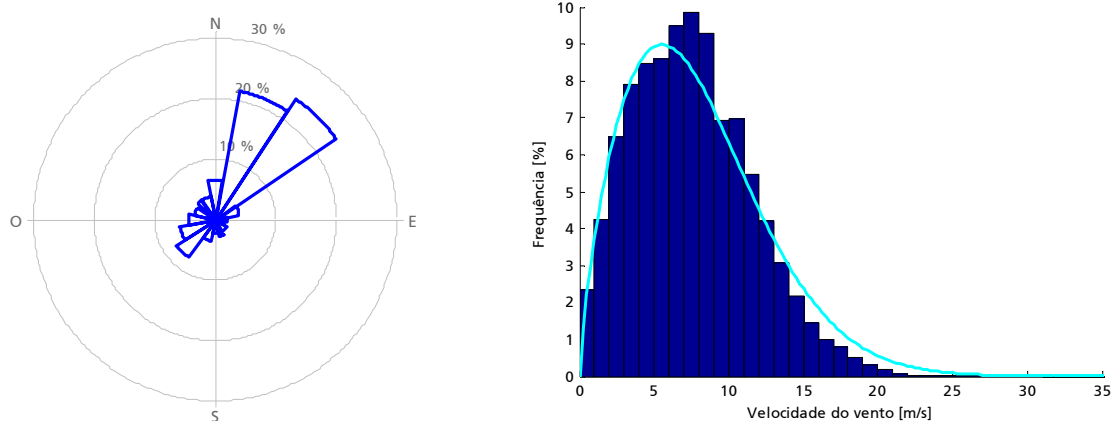


Figura 23 – Rosa-dos-ventos e histograma de velocidades em PORT322
5 anos de representatividade

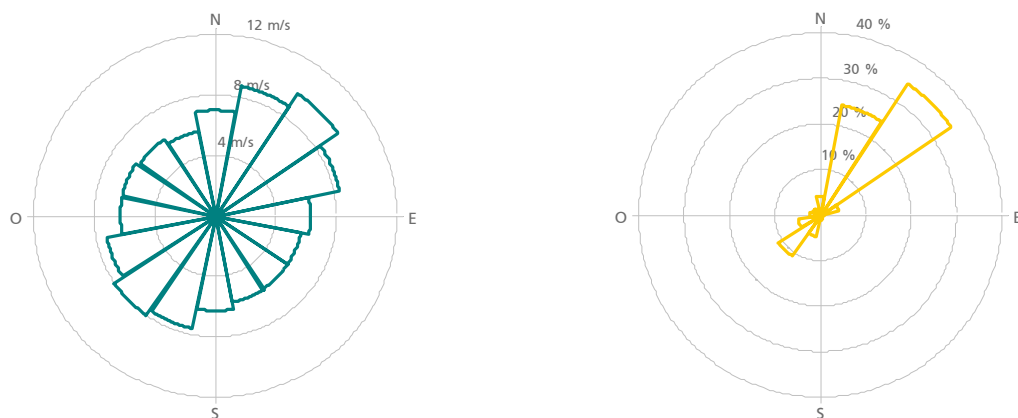


Figura 24 – Velocidade e energia disponível por sector em PORT322
5 anos de representatividade

Tabela 7 - Características do regime de ventos em PORT322
5 anos de representatividade

PORT322 - Fonte do Juncal			
60 m a.n.s.	Disponibilidade [%]		95
	Velocidade média [m/s]		7.65
	Distribuição de Weibull	A [m/s]	8.6
		k	2.07
	Potência [W/m^2] ($\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$)		508

Correlações de PORT323 – Pico Gordo

Período simultâneo

A variação da velocidade média mensal durante o período de funcionamento simultâneo na estação do Pico Gordo e nas de referência, PORT211 e PORT212, são expostas na figura 25. Nas mesmas figuras representam-se a suas correlações lineares.

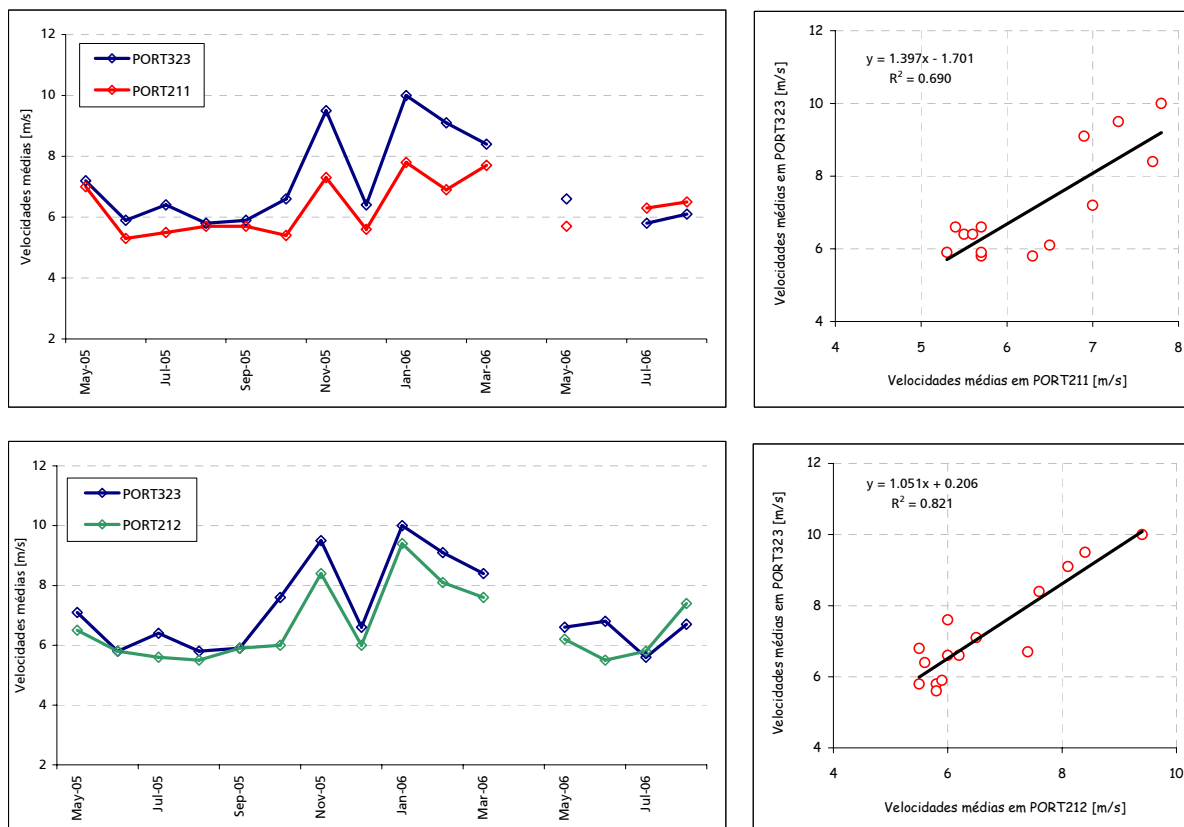


Figura 25 - Variação da velocidade média mensal. Correlação linear
Dados de Mai05 a Ago06 – 83 % e 82 % de disponibilidade

Como se pode verificar pela figura 25, existe uma parecença entre os regimes de ventos nas estações, em termos das velocidades médias mensais. Denota-se também que em PORT323 os valores da velocidade são, com poucas exceções, superiores aos registados nas estações de referência.

Os valores de R^2 obtidos para as correlações entre velocidades médias mensais com PORT211 e PORT212 foram de 0,69 e 0,82, respectivamente.

O conjunto de dados simultâneos seleccionado para servir de base às correlações pela metodologia MCP entre a estação alvo e as de referência é o compreendido entre Setembro de 2005 e Agosto de 2006.

Na figura 26 mostram-se as rosas-dos-ventos observadas durante esse período. Têm uma configuração semelhante, com prevalência dos rumos do quadrante Nordeste.

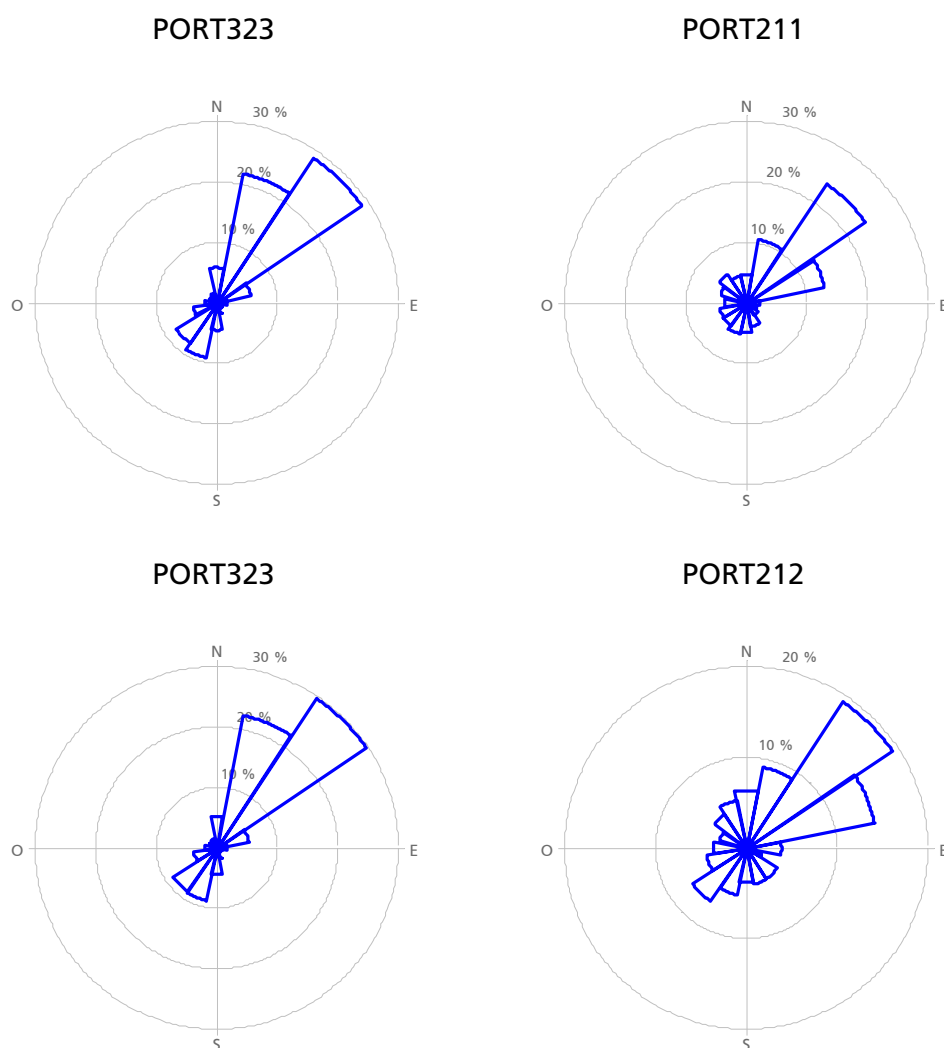


Figura 26 - Rosas-dos-ventos no período de funcionamento simultâneo entre estações
Dados de Set05 a Ago06 – 78 % e 76 % de disponibilidade

Validação das correlações

A validação das correlações foi efectuada utilizando o procedimento já descrito. As rosas de energia observadas e previstas encontram-se representadas na figura 27. Nas tabelas 8 e 9 encontram-se os principais parâmetros descritos dos regimes de vento observados e previstos e os desvios percentuais da previsão face ao medido.

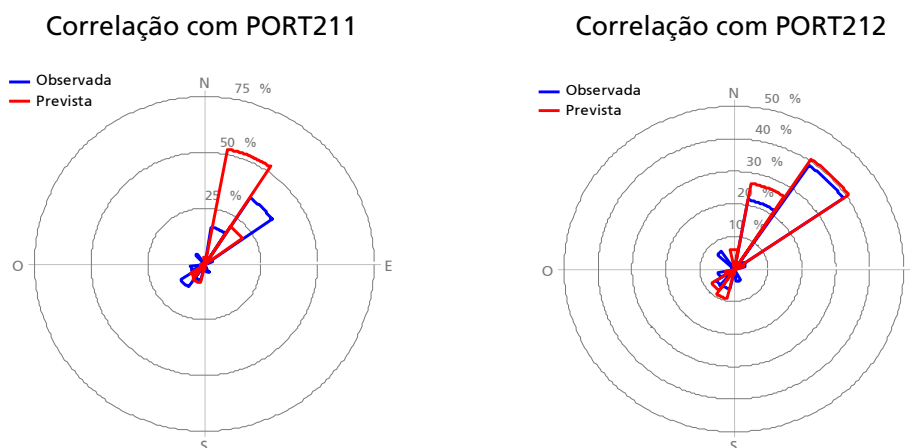


Figura 27 - Rosas de energia observada e prevista para PORT323
Dados de Set05 a Ago06 – 78 % e 76 % de disponibilidade

As rosas de energia obtidas por extrapolação a partir de PORT211 e PORT212 comparam-se com as originais de forma diferente: com PORT211 verifica-se uma transferência de energia para o sector 2, sobretudo do sector 3; no caso de PORT212 a semelhança entre a previsão e observação é maior.

Tabela 8 - Qualidade da correlação entre PORT323 e PORT211
Dados de Set05 a Ago06 - 78 % de disponibilidade

PORT323			Observado	Estimados com PORT211	Desvio [%]
60 m a.n.s.	Velocidade média [m/s]		7.4	8.6	16.3
	Distribuição de Weibull	A [m/s]	8.1	9.5	17.3
		k	1.35	1.42	5.2
	Potência [W/m ²]		810	1166	44.0
	Prod. turbina de ref. ^a (1,0 kW) [MWh/ano]		2662	3267	22.7

Tabela 9 - Qualidade da correlação entre PORT323 e PORT212
Dados de Set05 a Ago06 - 76 % de disponibilidade

PORT323			Observado	Estimados com PORT212	Desvio [%]
60 m a.n.s.	Velocidade média [m/s]		7.6	8.7	15.5
	Distribuição de Weibull	A [m/s]	8.3	9.7	16.9
		k	1.37	1.50	9.5
	Potência [W/m ²]		825	1106	34.1
	Prod. turbina de ref. ^a (1,0 kW) [MWh/ano]		2720	3259	19.8

Analisando os valores que constam das tabelas 8 e 9, verifica-se que o regime de ventos previsto para PORT323 a partir de PORT211 e PORT212 é muito diferente do registado, não autorizando a utilização da correlação para a extensão da representatividade do regime de ventos. O desvio já significativo verificado entre velocidades medidas e previstas é muito ampliado em termos de fluxo de potência e também no que respeita à produção estimada de um aerogerador.

Regime médio de ventos em PORT323

Como se pôde constatar, os resultados das correlações tipo MCP entre PORT323 e as estações de referência PORT211 e PORT212, conduziram a erros significativos, não tendo, por isso, sido utilizados os seus resultados.

Optou-se então por fazer uma análise de outro tipo à representatividade da série de dados disponível na estação PORT323. Esta análise terá como base metodologias baseadas em correlações lineares das velocidades registadas na estação PORT323 e nas estações de referência PORT211 e PORT212.

Para correlacionar linearmente os dados de velocidade das estações em causa foram utilizados todos os registos simultâneos válidos da velocidade no período de funcionamento compreendido entre Maio de 2005 e Agosto de 2006. A figura 25 da secção anterior resume os resultados obtidos.

Existe uma boa correlação entre as velocidades médias mensais de PORT323 e de PORT212, embora se note que as velocidades observadas em PORT323 são quase sempre superiores às registadas em PORT212. A velocidade média registada no período simultâneo foi de 7,2 m/s na estação PORT323 e 6,6 m/s na estação PORT212.

Sabendo que a velocidade média na estação PORT212, para o período entre Setembro de 2001 e Agosto de 2006, foi de 6,92 m/s, e para o período entre Setembro de 2005 e Agosto de 2006, 6,90 m/s, conclui-se que o ano de Setembro de 2005 a Agosto 2006 esteve -0,3 % abaixo ao registado nos cinco anos de medição.

A variabilidade inter-anual e, consequentemente, o afastamento dos resultados das medições locais relativamente ao longo termo, podem ser mitigados corrigindo a série da velocidades registada de um factor que contemple o afastamento desse ano relativamente ao período de cinco anos em que há medições em PORT212, ou seja, afectando os valores da velocidade de um factor 1,003. Consegue-se desta forma uma nova descrição do regime de ventos na qual os valores dos outros parâmetros de

caracterização se supõem não diferir de forma significativa dos registados no ano de medições locais. A tabela 10 dá conta dos resultados juntamente com as figuras 28 e 29.

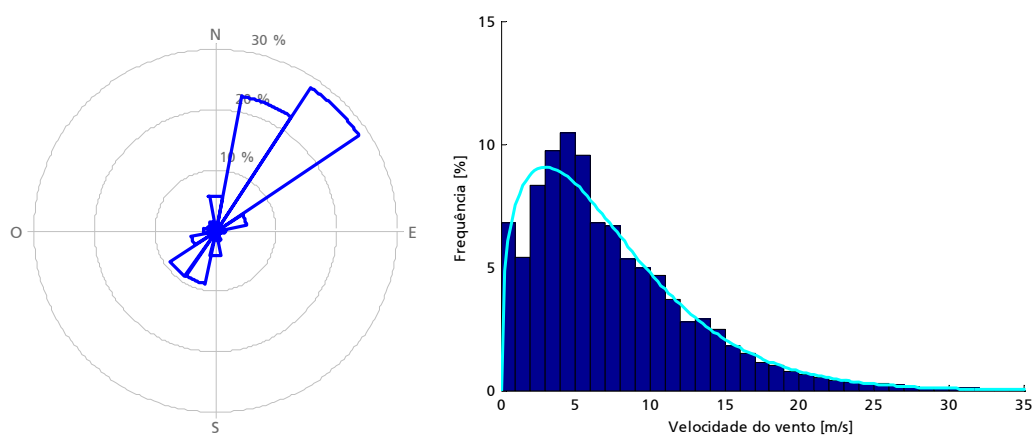


Figura 28 – Rosa-dos-ventos e histograma de velocidades em PORT323
5 anos de representatividade

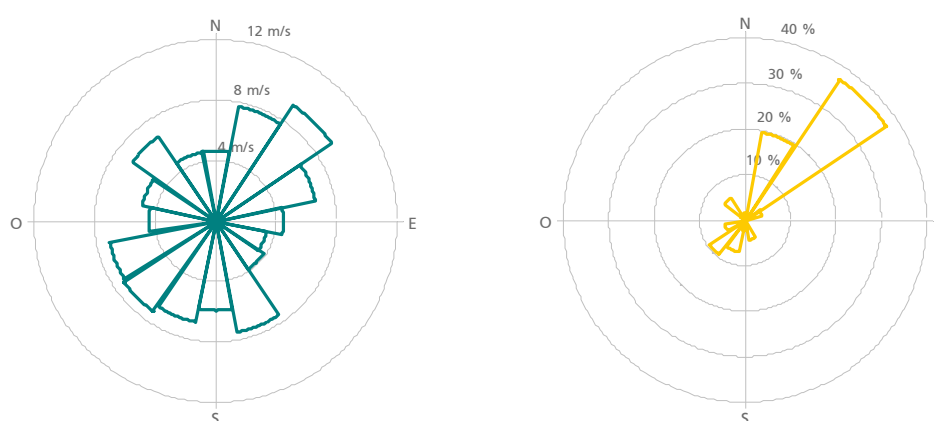


Figura 29 – Velocidade e energia disponível por sector em PORT323
5 anos de representatividade

Tabela 10 - Características do regime de ventos em PORT323
5 anos de representatividade

PORT323 - Pico Gordo			
60 m a.n.s.	Disponibilidade [%]		93
	Velocidade média [m/s]		7.29
	Distribuição de Weibull	A [m/s]	7.9
		k	1.34
	Potência ($\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$) [W/m ²]		771

O método da correlação linear apenas permite estimar as velocidades médias. No que se segue considera-se pois que os registos de direcção recolhidos no período de funcionamento da estação PORT323 são representativos de uma situação de longo termo.

Turbulência

Na figura 30 mostra-se a variação da intensidade de turbulência com a velocidade do vento registada em cada ponto de medição.

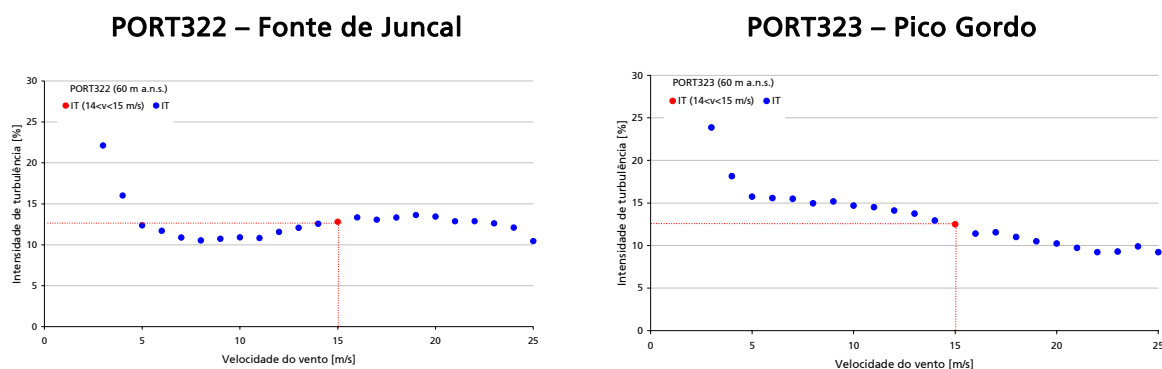


Figura 30 – Intensidade do vento vs velocidade do vento

A intensidade de turbulência nas estações de medição, para velocidades na gama dos 15 m/s, encontra-se já descrita no capítulo 2. De uma forma global, os seus valores não suscitam preocupações de especial, estando dentro do habitual para terrenos de orografia complexa.

Regime de ventos extremos

A previsão da velocidade máxima esperada para 50 anos nos locais de medição, para 65 m do solo, foi realizada através da metodologia de Gumbel, especialmente adaptada para as condições particulares das séries de vento.

Para a definição das amostras de eventos extremos foram seleccionadas todas as ocorrências cuja velocidade conduziria a velocidades superiores a 25 m/s^4 à altura em análise e analisou-se a sua distribuição. Uma vez definida a distribuição de aproximação que melhor se ajusta à distribuição real e os seus parâmetros característicos foi possível determinar a relação entre o período de retorno e a velocidade máxima expectável.

Para servir de base a esta análise tomaram-se os dados das estações locais, recolhidos durante o período que serviu de referência à caracterização do regime de ventos na vizinhança dos pontos de medição. O conjunto de dados seleccionado não tem a extensão mínima necessária para garantir as condições de aplicabilidade da metodologia, pelo que os resultados estão penalizados de um nível de incerteza que não é possível quantificar.

De modo a minorar esta limitação foram consideradas as estações PORT210, da qual foi possível reunir um conjunto três anos de dados, entre Julho de 2001 e Junho de 2004, e PORT212, entre Setembro de 2001 e Agosto de 2006. Pese embora a extensão das séries de dados ser ainda inferior à recomendada, inclui já alguma informação sobre a variabilidade inter-anual, pelo que a fiabilidade dos resultados é um pouco maior. PORT210 foi seleccionada pela proximidade à área da Fonte do Juncal e PORT212 pela proximidade à área do Pico Gordo.

As velocidades extremas à altura das medições em cada uma das estações foram extrapoladas para uma altura de 65 m do solo, considerando o perfil vertical de velocidades registado no sector de maior concentração de ocorrências extremas. Na tabela 11 apresenta-se um resumo das velocidades extremas em cada estação.

Tabela 11 – Velocidades extremas nas estações locais

Estação	Altura [m]	Período de dados	Disponibilidade [%]	Limite do valor extremo [m/s]	Nº de ocorrências extremas	Vel. máx. registada [m/s]	Vel. máx. a 50 anos [m/s]
PORT210	40	Jul01 a Jun04	83	25	240	30.1	41.4
PORT212	40	Set01 a Ago06	93	25	169	27.2	32.0
PORT322	60	Set05 a Ago06	100	25	35	30.2	36.0
PORT323	60	Set05 a Ago07	88	25	542	34.2	43.8

⁴ A escolha do limite de 25 m/s prende-se com o facto de ser esse o valor para o qual a maioria dos aerogeradores sai de serviço.

Dos resultados é possível verificar que nos locais de PORT210 e PORT323 a intensidade do regime de ventos é muito elevada, com velocidades extremas de 41,4 e 43,8 m/s, respectivamente.

Enfatiza-se aqui que, dada a curta duração dos períodos de medição nos locais em análise, principalmente nas estações PORT322 e PORT323, estes resultados não podem ser entendidos senão como uma primeira aproximação ao tema, devendo o assunto ser retomado quando efectivamente for necessário decidir acerca das características dos aerogeradores a instalar.

6

Distribuição do recurso eólico e classificação do local

Distribuição do recurso eólico

O recurso eólico nas áreas em estudo foi determinado recorrendo à metodologia do Atlas Europeu de Vento e à utilização do *software* WAsP.

A distribuição da velocidade do vento foi calculada com base nas descrições do regime de ventos obtido por recurso à metodologia de correlação/extrapolação para ambas as estações locais, PORT322 e PORT323. As descrições dos atlas de vento representativos de cinco anos das estações locais são incluídas no Anexo IV.

De forma a mitigar os desvios decorrentes da utilização das correlações efectuadas para aumentar a representatividade da descrição do regime de ventos de PORT322 e PORT323, todas as estimativas de velocidade obtidas com base na sua informação foram corrigidas. Os desvios decorrentes da auto-previsão foram igualmente corrigidos. As figuras 31 e 32 mostram a distribuição da velocidade do vento estimada para 50 e 65 m do solo, respectivamente.

Conforme se pode verificar, as velocidades médias mensais previstas ilustram bem as potencialidades do regime de ventos local. Em grande parte das áreas são previstas velocidades médias anuais acima de 7 m/s.

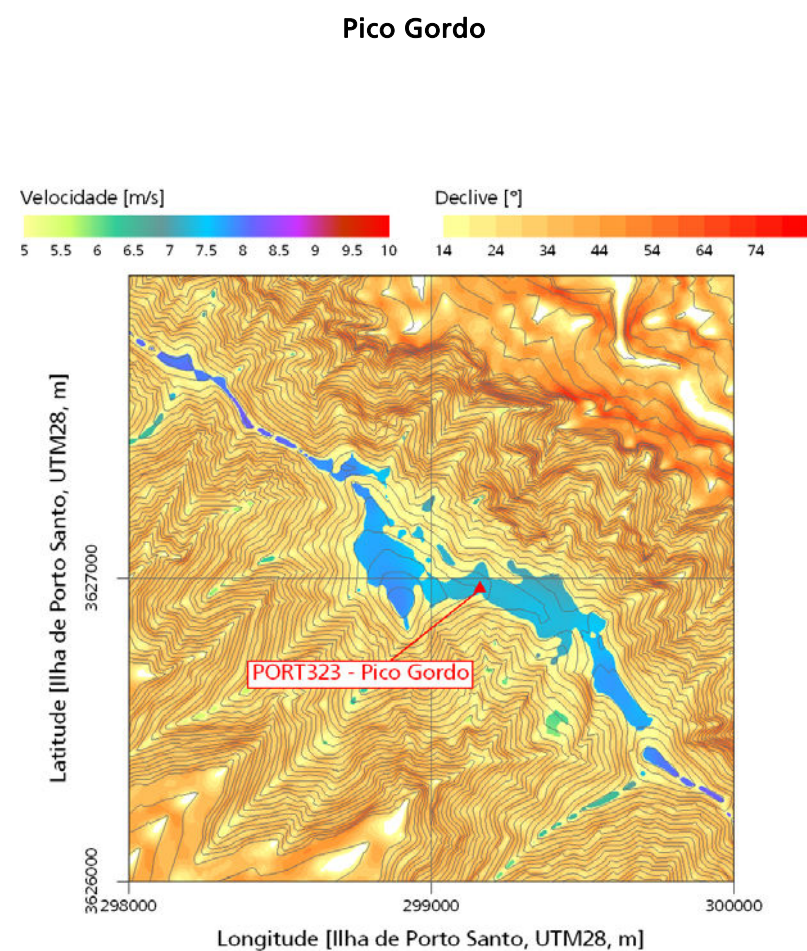
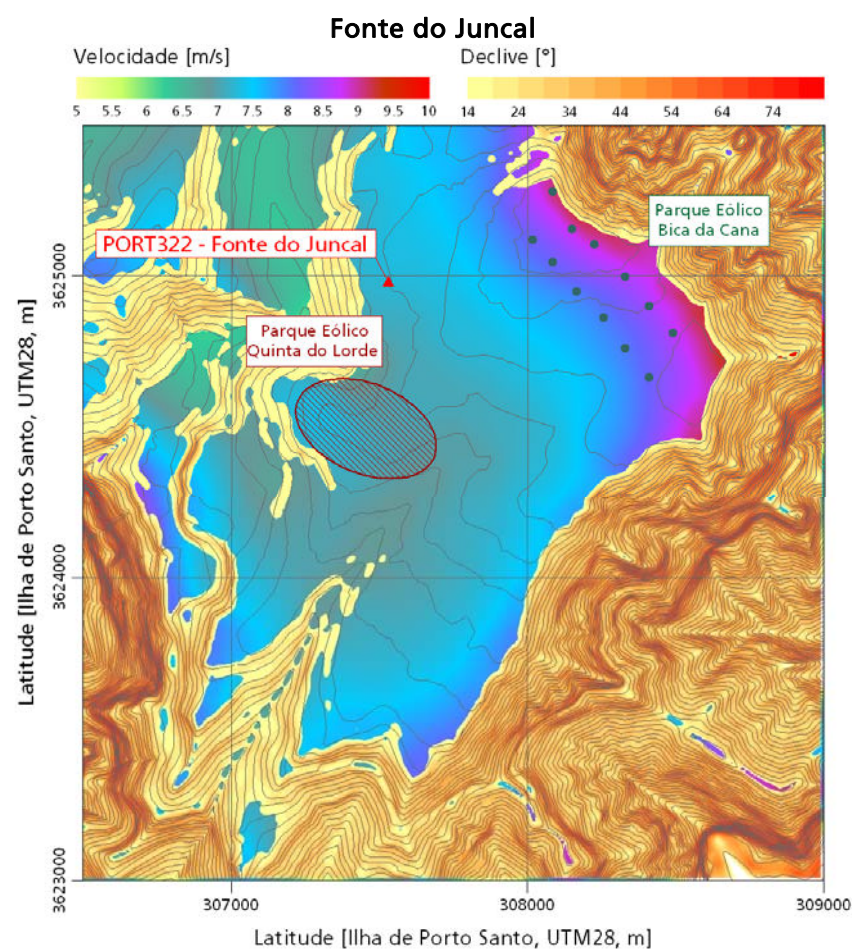


Figura 31 - Distribuição da velocidade do vento a 50 m a.n.s. nas áreas em estudo

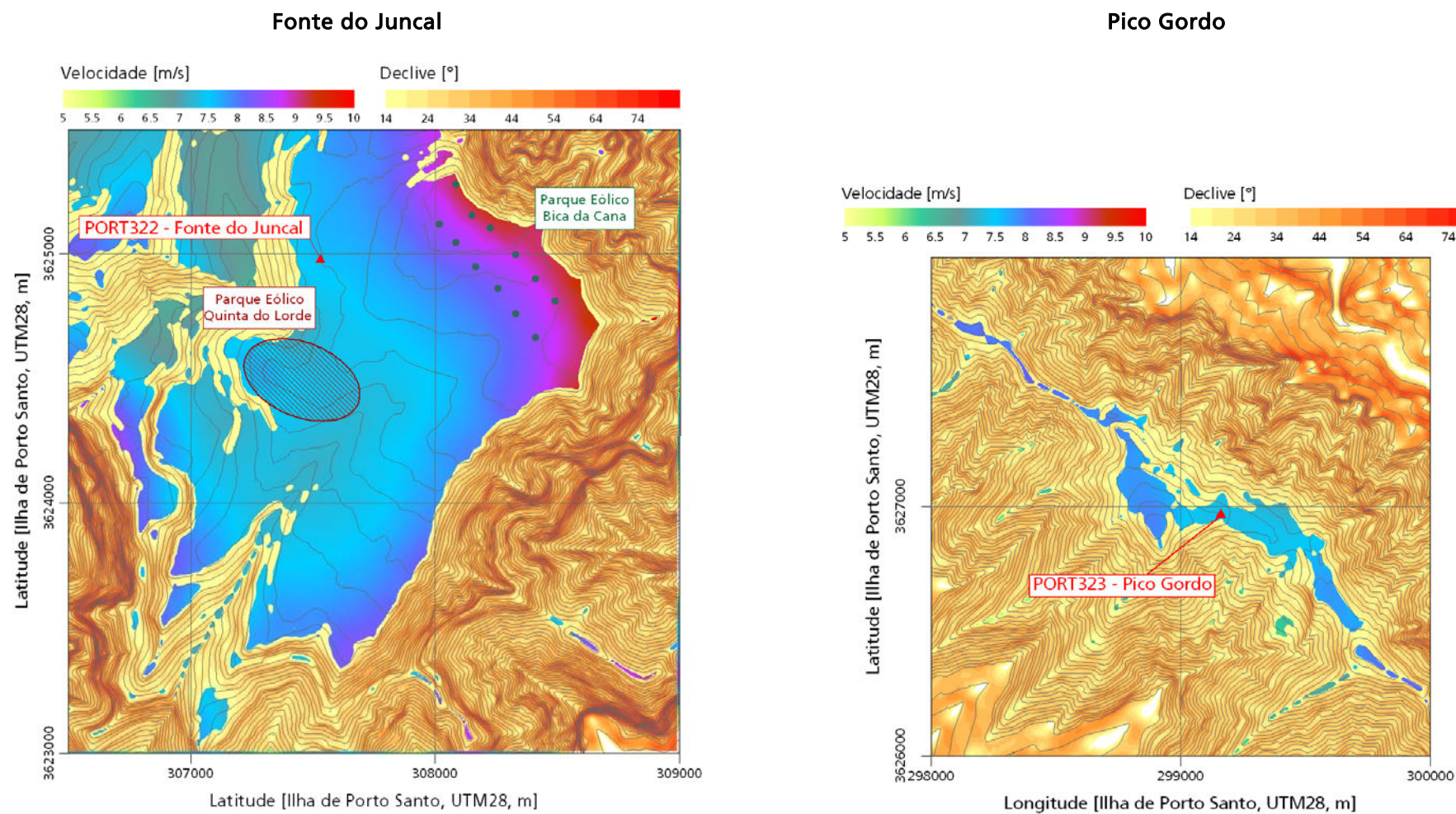


Figura 32 - Distribuição da velocidade do vento a 65 m a.n.s. nas áreas em estudo

Classificação dos locais – Norma IEC 61400 – Parte 1

O enquadramento dos locais em estudo na norma IEC 61400 - Parte 1 é tentado tendo por base os valores da velocidade do vento, média anual e máxima para 50 anos para a altura do eixo do aerogerador, e da intensidade de turbulência para velocidades do vento na classe dos 15 m/s. Na tabela 12 mostram-se os valores de cada um dos parâmetros definidores das classes IEC 61400 – Parte 1. Recentemente, em Agosto de 2005, saiu nova versão da norma. Adoptou-se aqui ainda a versão anterior por ser a que presidiu à classificação dos aerogeradores actualmente no mercado.

Tabela 12 – Classe IEC 61400 – Parte 1

Classes	I A B	II A B	III A B	IV A B	S
Vel. máx. a 50 anos [m/s]	50,0	42,5	37,5	30,0	Definir pelo fabricante
Vel. média [m/s]	10,0	8,5	7,5	6,0	
Int. turbulência a 15 m/s [%]	18 16	18 16	18 16	18 16	

Na figura 33 mostra-se a correspondência entre a distribuição da velocidade média anual prevista nas áreas em estudo e as classes de velocidade da norma, para uma altura de 65 metros do solo.

Na tabela 13 resumem-se os valores dos parâmetros característicos definidores da classe dos aerogeradores, à altura de instalação do eixo do rotor, 65 m, para os dois locais em apreciação.

Tabela 13 – Enquadramento das áreas em estudo na norma IEC 61400 – Parte 1

Projecto	Estação de referência	Altura [m]	Int. Turbulência (V = 15 m/s) [%]	Vel. méd. anual do parque [m/s]	Vel. máx. a 50 anos [m/s]	Classificação do local
Fonte do Juncal	PORT210	65	12.5	7.9	41.4	II _B
	PORT322	65	12.8	8.3	36.0	II _B
Pico Gordo	PORT323	65	12.6	8.0	43.8	I _B
	PORT212	65	9.0	8.5	32.0	II _B

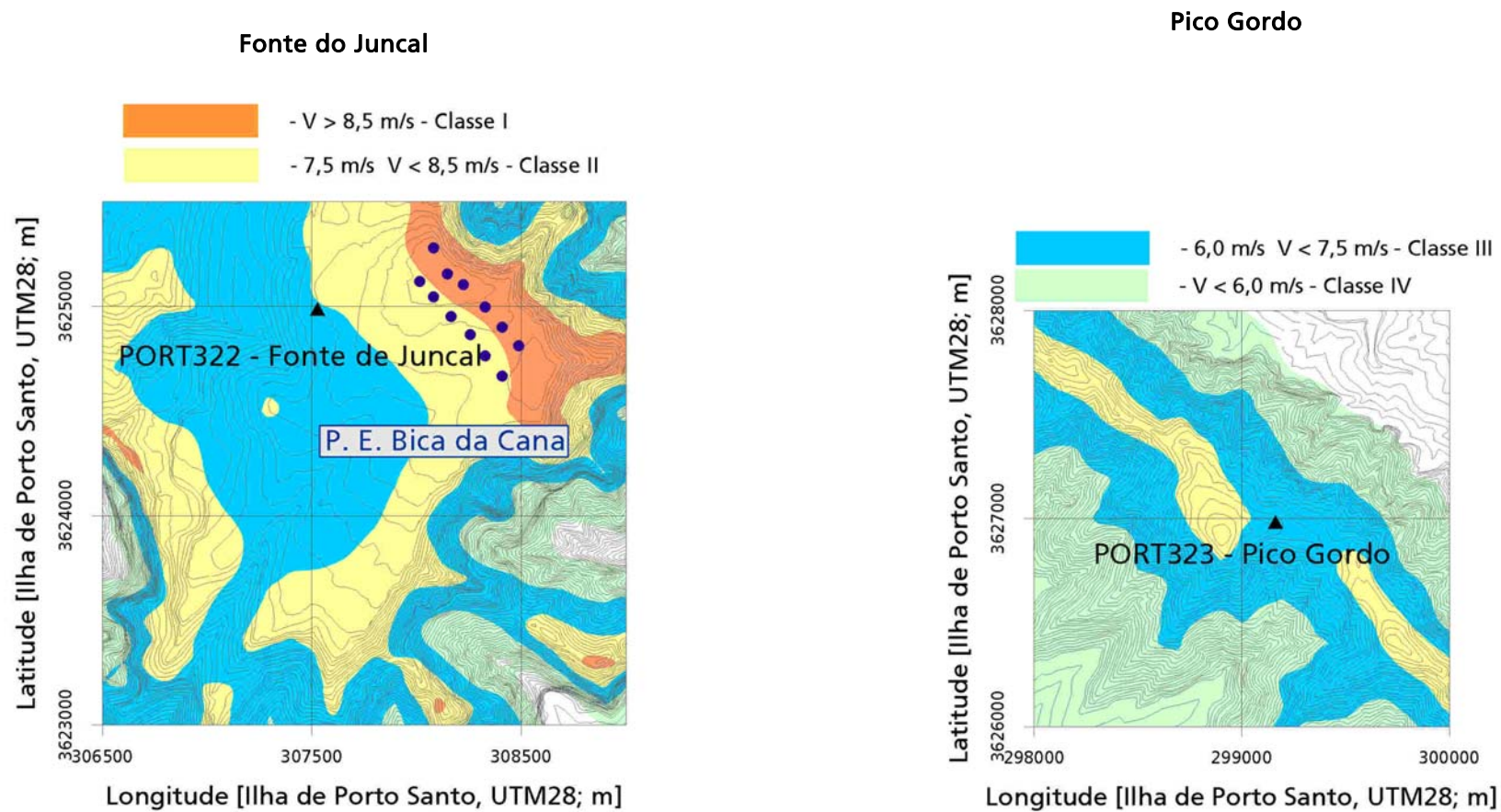


Figura 33 – Classificação dos locais de acordo com a velocidade média anual para 65 metros do solo

Atendendo ao resultado obtido para os três parâmetros de classificação seria possível enquadrar os locais na Classe II_B segundo a norma IEC 61400, com excepção dos cálculos efectuados recorrendo a PORT323, que enquadram o sítio de acordo com a Classe I_B. A reduzida extensão do período de dados disponível nesta estação reveste esta classificação de uma margem de erro considerável, podendo mesmo transitar para a classe inferior uma vez que o limite inferior da Classe I é de 42,6 m/s.



Incerteza

A utilização de modelos do escoamento atmosférico do tipo dos aqui empregues em terrenos de orografia complexa, apesar de respeitados os seus limites de aplicabilidade, comporta uma margem de incerteza que pode ser controlada pela experiência do seu uso, mas não totalmente evitada. Mesmo em casos em que a informação sobre as características do vento é suficiente e que a representação digital do terreno é de boa qualidade, essa margem é estimada em cerca de 5 % no que respeita às estimativas de velocidade.

No caso da Madeira são vários os factores que contribuem para o agravamento da incerteza da utilização do modelo, já discutidos neste documento, além de outras contribuições comuns a todos os projectos.

Na tabela 14 resume-se a incerteza associada à determinação da velocidade para cada um dos projectos em análise.

Tabela 14 – Valores de incerteza associada à determinação da velocidade

Projecto	Qualidade da representação do terreno	Incerteza do modelo	Variabilidade inter-anual	Medição da velocidade	Total
Fonte do Juncal	1.0%	9.0%	2.0%	2.0%	9.5%
Pico Gordo	1.0%	7.0%	2.0%	2.0%	7.6%

O mapa utilizado nos cálculos é considerado adequado, tanto em extensão como em detalhe, para a aplicação do modelo de escoamento empregue, pelo que lhe foi associada uma incerteza de 1 %.

À incerteza associada às medições da velocidade foi atribuído um valor de 2 %.

Do ponto de vista da complexidade do terreno, é experiência do INEGI que nestes casos, em resultado das características do relevo, apresentando no limite de uma área plana um declive acentuado, o modelo experimenta dificuldades em descrever o regime de ventos, conduzindo a uma sobrestimava do recurso nesses locais. Foi essa a razão que presidiu ao agravamento da incerteza na área de Fonte do Juncal.

No que respeita à extensão da série de dados, uma representatividade de cinco anos para as duas estações seria muito razoável para aproximar a caracterização do regime de longo termo. Todavia, atendendo a que essa representatividade foi, em grande parte, por correlação e comparação com dados de outros locais, não pode deixar de considerar-se alguma incerteza devida à variabilidade inter-anual do regime de ventos.

8

Notas finais

A grande complexidade do relevo na envolvente às áreas aqui estudadas coloca algumas dificuldades no tratamento da informação visando a caracterização do recurso eólico. O facto de se dispor de dados recolhidos em estações locais com séries de dados de apenas um ano obriga a uma estratégia de correlação/extrapolação entre dados locais e de outras estações, no sentido de se obter uma representação o mais próxima possível do que se admite ser a distribuição do recurso na área em estudo. Conseguiram-se descrições do regime de ventos representativas de cinco anos, para as estações das áreas em estudo, embora as correlações não sejam de grande qualidade.

A informação recolhida nas estações de medição parece enquadrar o local de Pico Gordo na Classe I_B, segundo a norma IEC 61400-Parte 1. No caso do local de Fonte do Juncal, os valores obtidos nas estações PORT322 e PORT212 indicam que os aerogeradores a instalar na área poderão ser de Classe II_B. Recorda-se que a incerteza desta classificação é grande, dada a curta extensão das séries de dados disponíveis.

Considerando as metodologias e meios de cálculo empregues e a informação de base utilizada, a incerteza associada à velocidade média anual prevista é de 7,6 % para a área circundante ao local de Pico Gordo e de 8,5 % para a área que se designou de Fonte do Juncal.

Elaborado por:



Tânia Afonso



Joana Pinto

Verificado por:



Álvaro Rodrigues

O Director da Unidade de Energia e Ambiente:



Francisco Mota Torres

Página em branco

Anexo I

Mapa digitalizado utilizado nos cálculos

Página em branco

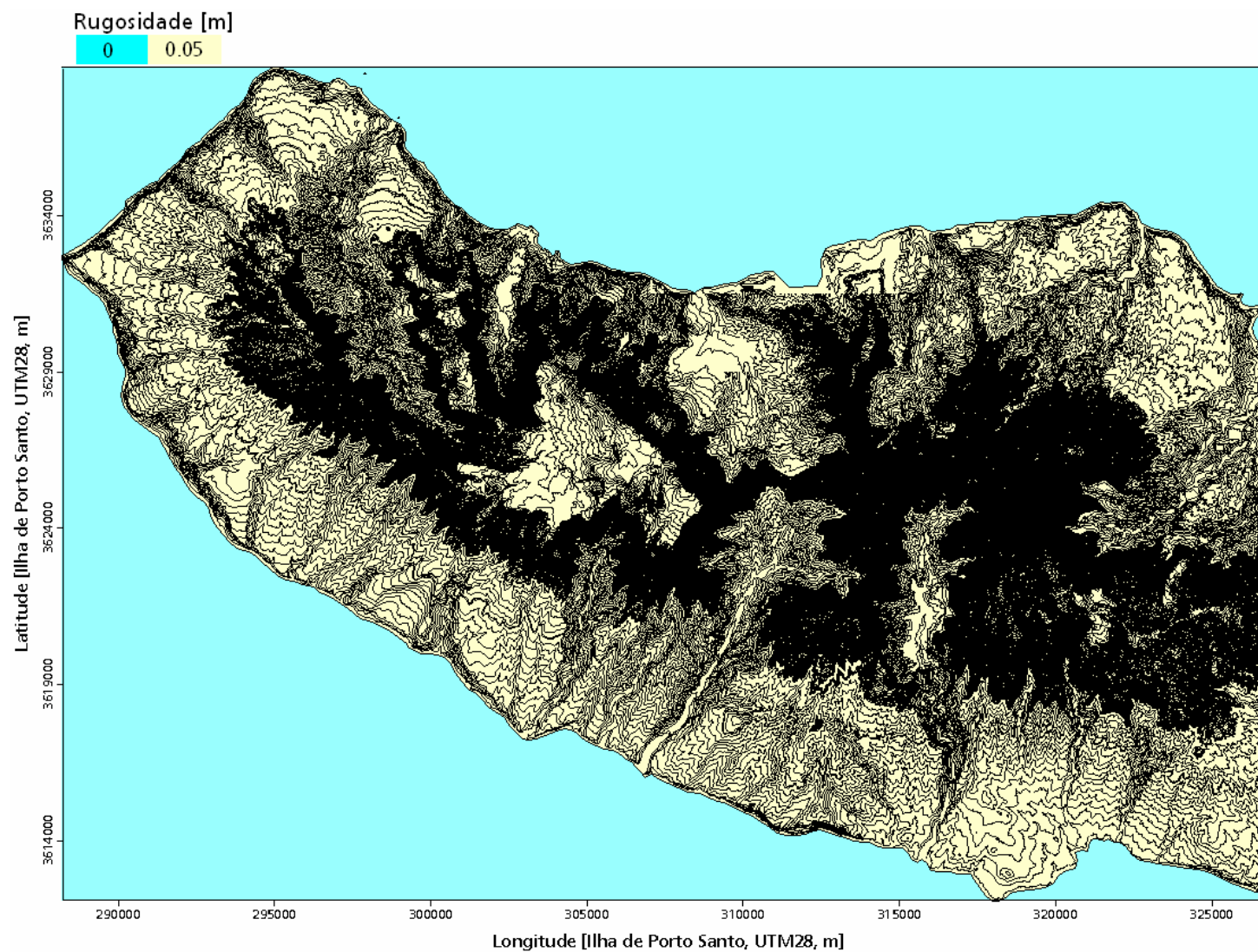


Figura I.1 – Mapa digital empregue nos cálculos

Página em branco

Anexo II

Resultados da campanha de medição em PORT322

Página em branco

Tabela AII.1 - Medições em PORT322 – ano 2005

Mês		Jan-05	Fev-05	Mar-05	Abr-05	Mai-05	Jun-05	Jul-05	Ago-05	Set-05	Out-05	Nov-05	Dez-05	Global
Número de dias		-	-	-	-	31	30	31	31	30	31	30	31	245
60 m	Disponibilidade [%]	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Velocidade média [m/s]	-	-	-	-	7.8	5.8	6.0	5.5	6.2	6.9	8.8	6.3	6.7
	Distribuição A [m/s]	-	-	-	-	8.8	6.8	6.8	6.4	7.0	6.5	10.1	6.9	7.5
	Weibull k	-	-	-	-	2.05	2.48	2.02	2.09	1.93	1.14	2.43	1.57	1.76
	Int. de turbulência (V>5 m/s) [m/s]	-	-	-	-	10.7	9.3	8.7	9.3	9.2	13.1	12.9	12.8	11.0
	Velocidade máxima [m/s]	-	-	-	-	24.1	15.7	14.2	15.5	16.5	30.2	20.6	21.9	30.2
	Rajada máxima [m/s]	-	-	-	-	31.7	19.7	18.5	19.3	20.4	41.0	30.5	30.1	41.0
	Potência [W/m ²]	-	-	-	-	488	191	228	186	256	594	632	339	364
30 m	Disponibilidade [%]	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Velocidade média [m/s]	-	-	-	-	7.1	5.3	5.4	5.2	5.7	6.1	8.3	5.8	6.1
	Distribuição A [m/s]	-	-	-	-	7.9	6.2	6.1	6.0	6.3	5.8	9.5	6.2	6.7
	Weibull k	-	-	-	-	1.94	2.45	2.04	2.15	1.81	1.14	2.40	1.50	1.68
	Int. de turbulência (V>5 m/s) [m/s]	-	-	-	-	12.0	10.8	10.7	10.5	10.3	15.1	13.6	14.0	12.3
	Velocidade máxima [m/s]	-	-	-	-	22.3	14.4	13.1	15.0	15.5	27.9	19.2	20.1	27.9
	Rajada máxima [m/s]	-	-	-	-	30.2	21.8	17.9	20.2	20.6	39.0	27.9	28.7	39.0
	Potência [W/m ²]	-	-	-	-	371	143	162	144	202	417	531	264	279
Temperatura [°C]		-	-	-	-	9.2	13.4	14.4	14.0	13.4	11.0	6.2	6.7	11.0
Pressão [bar]		-	-	-	-	84922	84879	85059	84975	85189	84797	84940	84883	84955
Humidade [%]		-	-	-	-	71	55	60	63	72	84	96	81	73

Tabela AII.2 - Medições em PORT322 – ano 2006

Mês		Jan-06	Fev-06	Mar-06	Abr-06	Mai-06	Jun-06	Jul-06	Ago-06	Set-06	Out-06	Nov-06	Dez-06	Global
Número de dias		31	28	31	30	31	30	31	31	-	-	-	-	243
60 m	Disponibilidade [%]	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	100
	Velocidade média [m/s]	9.1	8.5	8.6	7.8	6.2	6.7	6.1	6.7	-	-	-	-	7.5
	Distribuição A [m/s]	10.6	9.7	9.9	8.9	6.9	8.0	7.2	7.6	-	-	-	-	8.6
	Weibull k	2.39	2.14	2.09	2.07	1.78	2.73	2.48	2.20	-	-	-	-	2.05
	Int. de turbulência (V>5 m/s) [m/s]	13.6	12.2	12.3	11.9	9.6	10.2	7.7	10.0	-	-	-	-	11.3
	Velocidade máxima [m/s]	22.6	26.1	22.3	19.1	16.8	19.3	17.4	16.5	-	-	-	-	26.1
	Rajada máxima [m/s]	34.0	34.8	34.8	27.4	20.1	29.7	18.9	20.4	-	-	-	-	34.8
	Potência [W/m ²]	751	617	675	491	270	289	228	288	-	-	-	-	450
30 m	Disponibilidade [%]	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	100
	Velocidade média [m/s]	8.5	7.7	7.8	7.3	5.8	6.1	5.6	6.2	-	-	-	-	6.9
	Distribuição A [m/s]	9.9	8.8	8.9	8.3	6.3	7.2	6.6	6.9	-	-	-	-	7.8
	Weibull k	2.31	2.13	1.98	2.12	1.81	2.65	2.65	2.25	-	-	-	-	2.01
	Int. de turbulência (V>5 m/s) [m/s]	14.3	13.3	13.2	12.6	10.4	11.5	9.4	11.2	-	-	-	-	12.3
	Velocidade máxima [m/s]	22.1	20.7	20.3	17.7	15.2	18.0	16.5	15.1	-	-	-	-	22.1
	Rajada máxima [m/s]	31.7	29.4	33.2	25.2	18.7	29.0	18.7	20.2	-	-	-	-	29.0
	Potência [W/m ²]	627	462	522	393	209	221	171	219	-	-	-	-	352
Temperatura [°C]		3.5	4.6	7.7	6.9	9.3	10.3	15.1	16.0	-	-	-	-	9.2
Pressão [bar]		85007	84718	84793	84609	84791	84842	84974	84798	-	-	-	-	84818
Humidade [%]		97	89	68	82	75	81	56	51	-	-	-	-	75

Página em branco

Anexo III

Resultados da campanha de medição em PORT323

Página em branco

Tabela AIII.1 - Medições em PORT323 – ano 2005

Mês		Jan-05	Fev-05	Mar-05	Abr-05	Mai-05	Jun-05	Jul-05	Ago-05	Set-05	Out-05	Nov-05	Dez-05	Global
Número de dias		-	-	-	-	31	30	31	31	30	31	30	31	245
60 m	Disponibilidade [%]	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Velocidade média [m/s]	-	-	-	-	7.1	5.8	6.4	5.8	5.9	6.6	9.5	6.4	6.7
	Distribuição A [m/s]	-	-	-	-	7.8	6.7	7.3	6.5	6.1	5.9	10.4	6.3	7.2
	Weibull k	-	-	-	-	1.51	1.72	1.91	1.70	1.32	0.99	1.67	1.05	1.35
	Int. de turbulência (V>5 m/s) [m/s]	-	-	-	-	13.0	11.8	12.1	12.7	13.5	12.4	13.7	13.9	12.9
	Velocidade máxima [m/s]	-	-	-	-	24.6	18.8	18.5	20.5	23.1	31.2	31.2	33.3	33.3
	Rajada máxima [m/s]	-	-	-	-	29.9	23.7	21.7	25.2	26.4	41.2	35.8	39.6	41.2
	Potência [W/m²]	-	-	-	-	507	267	294	248	330	700	1027	677	506
30 m	Disponibilidade [%]	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Velocidade média [m/s]	-	-	-	-	6.7	5.5	6.1	5.4	5.6	6.0	9.1	6.0	6.3
	Distribuição A [m/s]	-	-	-	-	7.1	6.2	7.0	5.9	5.8	5.2	9.9	5.9	6.7
	Weibull k	-	-	-	-	1.39	1.65	1.91	1.52	1.26	0.93	1.58	1.02	1.29
	Int. de turbulência (V>5 m/s) [m/s]	-	-	-	-	14.1	12.4	12.7	12.9	13.8	13.8	14.5	15.1	13.8
	Velocidade máxima [m/s]	-	-	-	-	24.7	17.7	17.8	20.2	23.5	30.7	31.5	34.1	34.1
	Rajada máxima [m/s]	-	-	-	-	29.3	25.1	22.1	25.9	-	39.7	36.6	40.1	-
	Potência [W/m²]	-	-	-	-	463	226	265	226	311	590	983	618	460
Temperatura [°C]		-	-	-	-	9.8	14.2	13.5	13.6	14.5	12.0	7.8	8.1	11.7
Pressão [bar]		-	-	-	-	88423	88363	88554	88415	88566	88103	88234	88259	88364
Humidade [%]		-	-	-	-	85	67	87	86	80	94	99	87	86

Tabela AIII.2 - Medições em PORT323 – ano 2006

Mês		Jan-06	Fev-06	Mar-06	Abr-06	Mai-06	Jun-06	Jul-06	Ago-06	Set-06	Out-06	Nov-06	Dez-06	Global
Número de dias		31	28	31	30	31	30	31	31	-	-	-	-	243
60 m	Disponibilidade [%]	100	100	80	0	70	100	100	100	-	-	-	-	81
	Velocidade média [m/s]	9.9	9.1	8.4	-	6.3	6.8	5.6	6.1	-	-	-	-	7.5
	Distribuição A [m/s]	11.3	10.4	9.5	-	6.2	7.5	6.3	6.8	-	-	-	-	8.2
	Weibull k	1.52	1.62	1.63	-	1.34	1.48	1.69	1.63	-	-	-	-	1.41
	Int. de turbulência (V>5 m/s) [m/s]	13.6	12.3	14.0	-	12.9	12.2	12.9	13.4	-	-	-	-	13.1
	Velocidade máxima [m/s]	32.9	34.2	27.3	-	22.8	25.5	17.3	21.5	-	-	-	-	34.2
	Rajada máxima [m/s]	42.0	41.2	32.6	-	25.6	33.4	22.8	24.8	-	-	-	-	42.0
	Potência [W/m²]	1538	1075	802	-	337	479	229	294	-	-	-	-	687
30 m	Disponibilidade [%]	100	100	80	0	70	100	100	100	-	-	-	-	81
	Velocidade média [m/s]	9.5	8.6	7.8	-	6.0	6.5	5.3	5.7	-	-	-	-	7.1
	Distribuição A [m/s]	10.6	9.8	8.5	-	6.0	7.0	6.0	6.3	-	-	-	-	7.6
	Weibull k	1.40	1.50	1.46	-	1.33	1.38	1.62	1.60	-	-	-	-	1.31
	Int. de turbulência (V>5 m/s) [m/s]	14.3	12.7	15.0	-	13.5	13.1	13.1	13.9	-	-	-	-	13.7
	Velocidade máxima [m/s]	33.8	35.3	27.7	-	22.3	25.7	17.3	19.7	-	-	-	-	35.3
	Rajada máxima [m/s]	-	41.7	33.1	-	25.5	33.1	22.1	23.6	-	-	-	-	-
	Potência [W/m²]	1485	1034	704	-	308	452	204	245	-	-	-	-	641
Temperatura [°C]		5.4	5.8	8.4	8.4	9.9	10.3	15.1	15.1	-	-	-	-	9.9
Pressão [bar]		88381	88141	88279	88124	88368	88415	88547	88384	-	-	-	-	88333
Humidade [%]		96	97	80	87	90	98	74	81	-	-	-	-	88

Página em branco

Anexo IV

Atlas de vento

Página em branco

Tabela AIV.1 – Atlas de vento de PORT322 – Fonte de Juncal
5 anos de representatividade

Altura ao solo [m]		Classe de rugosidade [m]			
		0.00	0.05	0.10	0.40
20	Velocidade média [m/s]	5.03	3.50	3.26	2.69
	Distribuição de Weibull A [m/s]	5.70	3.90	3.60	3.00
	k	1.96	1.69	1.68	1.69
	Potência [W/m ²]	151	61	49	28
40	Velocidade média [m/s]	5.39	4.05	3.81	3.26
	Distribuição de Weibull A [m/s]	6.10	4.60	4.30	3.70
	k	2.04	1.85	1.83	1.81
	Potência [W/m ²]	179	85	71	45
60	Velocidade média [m/s]	5.63	4.45	4.20	3.63
	Distribuição de Weibull A [m/s]	6.40	5.00	4.70	4.10
	k	2.03	2.01	1.97	1.92
	Potência [W/m ²]	207	103	88	58
65	Velocidade média [m/s]	5.68	4.54	4.28	3.71
	Distribuição de Weibull A [m/s]	6.40	5.10	4.80	4.20
	k	2.02	2.05	2.01	1.95
	Potência [W/m ²]	213	107	91	61
100	Velocidade média [m/s]	5.99	5.07	4.79	4.17
	Distribuição de Weibull A [m/s]	6.80	5.70	5.40	4.70
	k	1.97	2.08	2.09	2.12
	Potência [W/m ²]	254	147	123	80

Tabela AIV.2 – Atlas de vento de PORT323 – Pico Gordo
5 anos de representatividade

Altura ao solo [m]		Classe de rugosidade [m]			
		0.00	0.05	0.10	0.40
20	Velocidade média [m/s]	4.39	3.07	2.86	2.36
	Distribuição de Weibull A [m/s]	4.70	3.18	2.96	2.44
	k	1.24	1.10	1.10	1.10
	Potência [W/m ²]	194	85	69	39
40	Velocidade média [m/s]	4.71	3.56	3.35	2.86
	Distribuição de Weibull A [m/s]	5.08	3.77	3.54	3.02
	k	1.28	1.19	1.18	1.17
	Potência [W/m ²]	225	112	94	60
60	Velocidade média [m/s]	4.92	3.90	3.68	3.19
	Distribuição de Weibull A [m/s]	5.30	4.22	3.97	3.41
	k	1.27	1.28	1.26	1.23
	Potência [W/m ²]	260	128	111	75
65	Velocidade média [m/s]	4.96	3.98	3.76	3.26
	Distribuição de Weibull A [m/s]	5.35	4.31	4.06	3.49
	k	1.27	1.31	1.28	1.25
	Potência [W/m ²]	269	131	114	78
100	Velocidade média [m/s]	5.23	4.45	4.20	3.66
	Distribuição de Weibull A [m/s]	5.61	4.83	4.57	3.99
	k	1.24	1.32	1.33	1.35
	Potência [W/m ²]	326	181	151	97



***ERAMAC 2 - Maximização da Penetração das Energias Renováveis e
Utilização Racional da Energia nas Ilhas da Macaronésia - 2ª fase***

Contrato n° 03/MAC/4.3/C3



Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira
Edifício Madeira Tecnopolo, 9000-390 Funchal
Tel: 291723300; Fax: 291720033; Url: www.aream.pt