Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
20 anos motor de inovação

Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Medição das características detalhadas do vento no Pico Gordo – Madeira

(estação PORT323)

Estudo elaborado para AREAM – Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira

Julho de 2006

1. Introdução

Este relatório refere-se a uma campanha de medições, de curta duração, na qual se pretendeu avaliar algumas características do escoamento atmosférico num local da Ilha da Madeira, visando a sua possível utilização para a construção de um parque de aerogeradores. Esta acção insere-se no âmbito de um conjunto de outras que a AREAM, Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira promove na Ilha, mais concretamente na zona do Paul da Serra, com o objectivo genérico de contribuir para a caracterização do potencial eólico da Região.

O objectivo não era o de avaliar o nível do potencial disponível, mas sim efectuar medições do campo turbulento de velocidades e de outras grandezas que contribuem para o que genericamente se designa como complexidade do escoamento, caso da componente vertical do vector velocidade.

O local em causa é conhecido por Pico Gordo e as medições foram efectuadas na estação PORT323, operada para a AREAM pelo INEGI. PORT323 está instalada numa torre treliçada e espiada, com 60 metros de altura, num ponto de coordenadas 307225; 3626343 (ED50; UTM29). Os dados ali recolhidos têm servido para a caracterização do vento médio na área. A figura 1 é uma representação tridimensional do relevo na área onde está localizada a estação e a figura 2 mostra um pormenor do mapa digital no local da sua implementação.

A estação está equipada com anemómetros de copos *NRG* (modelo #40) a 60 e 30 m acima do nível do solo (ans) e sensores de direcção potenciométricos *Thies* às mesmas alturas. Foi utilizado nesta campanha um anemómetro ultrasónico *METEK* (modelo *USA-1*), simultaneamente com os anemómetros de copos e sensores de direcção da estação. Na figura 3 é mostrado o aspecto geral da estação e na figura 4 o esquema de montagem dos sensores na torre de suporte.

Os trabalhos de campo decorreram entre os dias 26 e 28 de Abril de 2005, às duas alturas atrás referidas, 30 e 60 m ans. A 60 m foi recolhido um conjunto de dados corresponde a praticamente 13 horas; a 30 m a série de dados é mais extensa, ultrapassando as 24 horas.

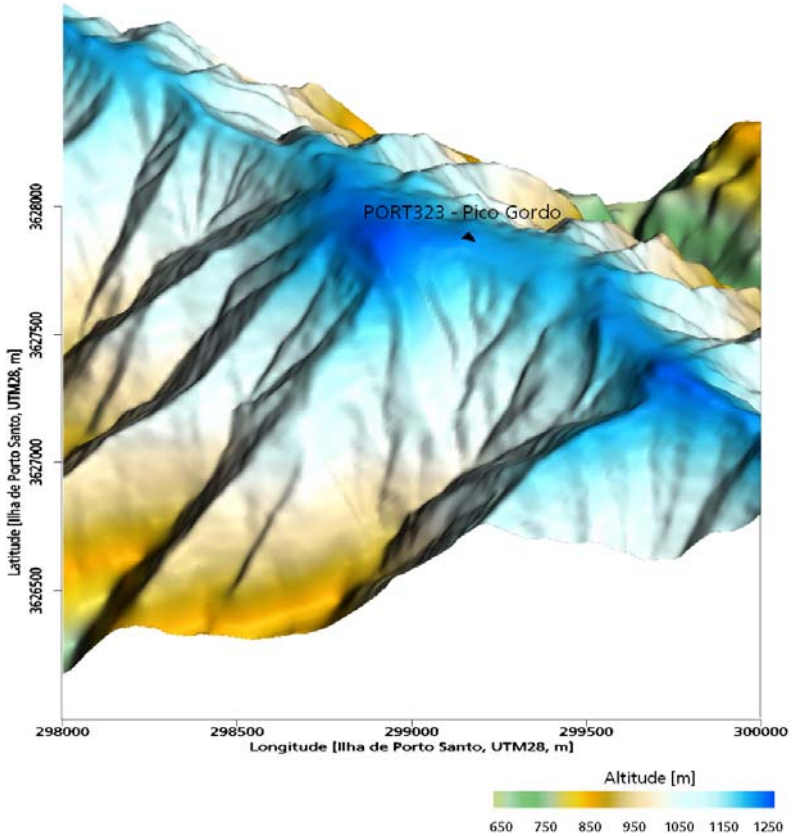

Figura 1 – Representação tridimensional do terreno na área do Pico Gordo

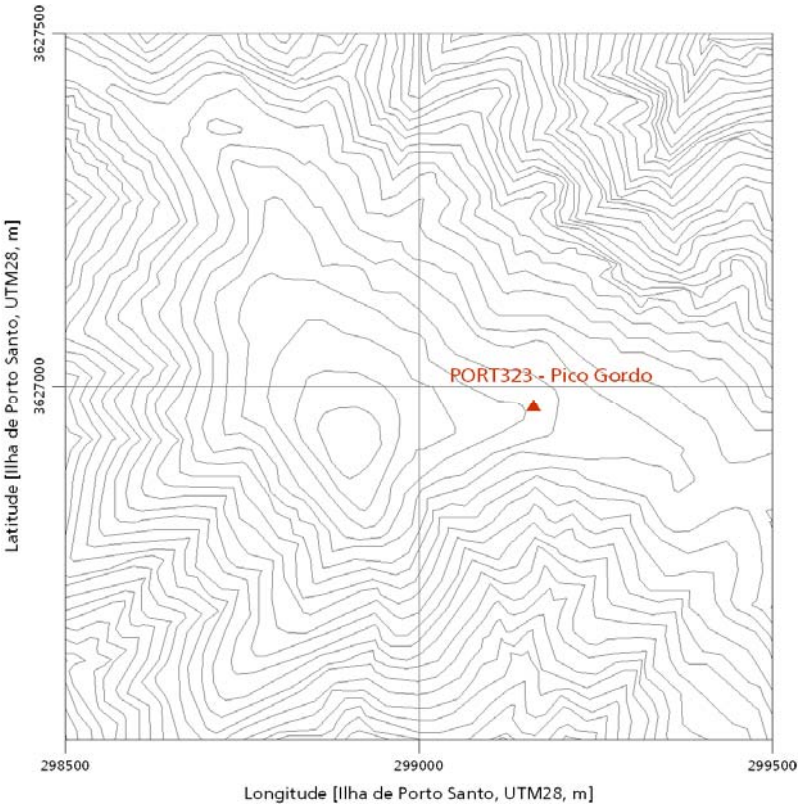

Figura 2 – Mapa digital do local de implantação da estação PORT323
(curvas de nível de 10 em 10 m)

Figura 3 – Estação de medição PORT323

Figura 4 – Esquema de montagem dos sensores na estação PORT323 (30 m ans)

2. Condições gerais do escoamento e qualidade dos dados

2.1 Regime de ventos durante a campanha com o anemómetro ultrasónico

As medições a 60 m ans decorreram entre o final da tarde do dia 26 de Abril, 18:20, até às 7:10 do dia seguinte, perfazendo 12 horas e 50 minutos de medição. O anemómetro ultrasónico foi depois transferido para o outro nível de medição, 30 m, onde esteve a operar entre as 8:20 do dia 27 de Abril e as 8:30 de 28 de Abril. Encontram-se disponíveis 24 horas e 10 minutos de dados recolhidos a 30 m ans.

No início das medições a 60 m ans o vento era ligeiro, inferior a 5 ms^{-1}; a velocidade do vento iniciou então uma subida gradual para valores moderados por um período de aproximadamente 3 horas, retomando os valores baixos do início, e até inferiores, no restante do período de medição. Nas primeiras 7 horas o rumo do vento oscilou entre Nordeste e Este. Durante a madrugada do dia 27 houve uma alteração da circulação atmosférica, com o vento a apresentar-se do quadrante Oeste. A figura 5 mostra essa evolução. Dos dados recolhidos apenas podem considerar-se como adequados para uma análise de turbulência cerca de 3 horas, relativas a vento de Nordeste.

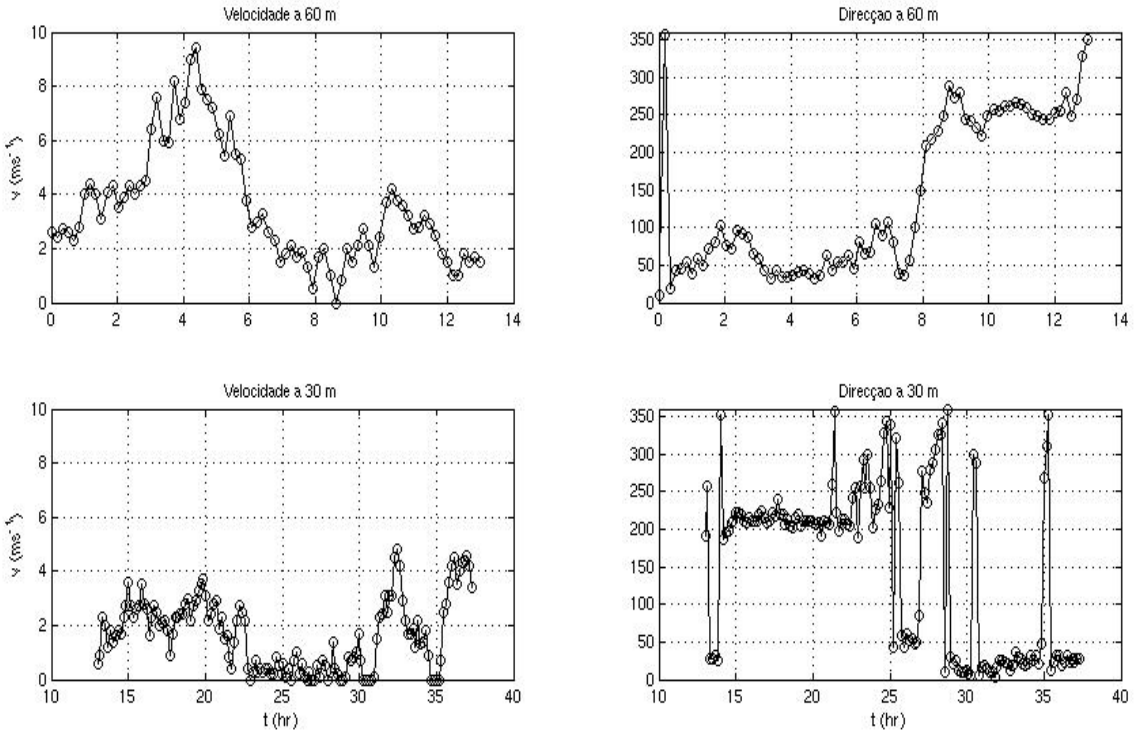

Figura 5 – Velocidade e direcção do vento durante as medições com o anemómetro ultrasónico

As medições a 30 m decorreram em condições mais desfavoráveis, uma vez que o vento se manteve com velocidades muito baixas durante todo o período de medição. Houve novamente uma alteração na direcção da circulação geral do escoamento, retomando, ainda que de modo intermitente, rumos do quadrante Norte. Assim, como se pode verificar na figura 5, do total das 37 horas de dados recolhidos apenas as já mencionadas cerca de 3 horas de registos a 60 m ans, com velocidade superior a 5 ms^{-1}, reúnem condições apropriadas para a análise que o presente estudo pretende efectuar.

O período seleccionado para análise da turbulência e das componentes verticais do vento está representado na figura 6. A evolução da velocidade média do vento está representada na figura 6 (a), o seu rumo na figura 6 (b), a intensidade de turbulência na figura 6 (c) e o factor de rajada na figura 6 (d). Os valores representados nesta figura resultam das medições com os anemómetros de copos e sensores de direcção potenciométricos.

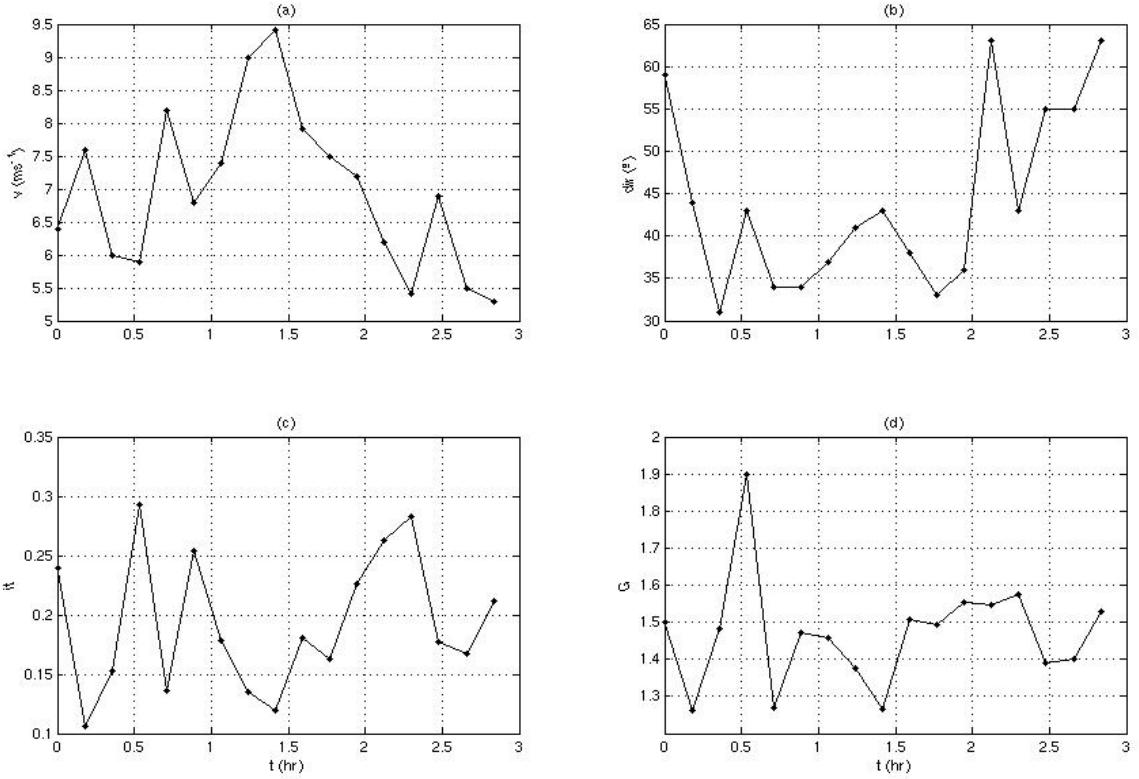

Figura 6 – Velocidade do vento (a), direcção (b), intensidade de turbulência (c) e factor de rajada (d) durante o período seleccionado, 26 de Abril, das 21 horas e 20 minutos às 24 horas, na estação PORT323

A velocidade média para o período em causa foi de 6,97 ms^{-1} para um vento de Nordeste com direcção média de 44,2°. O factor de rajada médio foi de 1,47, valor que se encontra dentro dos parâmetros normais. No entanto, a intensidade de turbulência

média durante esse período é elevada, 19,3 %, apesar de no seu cálculo só terem sido considerados os registos em que a velocidade superou os 5 ms^{-1}. Esse aspecto será abordado na secção 3, relativa às medições com o anemómetro ultrasónico.

2.2 Equipamento e qualidade dos dados

O anemómetro ultrasónico tinha sido submetido a uma revisão por parte do fabricante no período que antecedeu esta campanha de medições. Foi actualizado o seu *software* interno e efectuadas intervenções ligeiras no *hardware*. O sistema de aquisição de dados sofreu também alterações, tendo a sua autonomia e operacionalidade aumentado de acordo com as novas especificações internas do INEGI.

As intervenções atrás mencionadas originaram um conflito de comunicações entre equipamentos, conduzindo a uma pequena perda de dados apenas identificável em pós-processamento. Em consequência, 1,8 % dos dados seleccionados para análise foram rejeitados, tendo-se trabalho com os restantes 98,2 %. Essa perda de dados não compromete os objectivos do trabalho mas impede, contudo, que sejam efectuadas comparações entre os resultados obtidos com o anemómetro ultrasónico e com os anemómetros de copos, por dificuldades de sincronização das respectivas séries.

3. Turbulência e componentes verticais a 60 m

Período das 21:20 às 24:00, 26 de Abril de 2005

A velocidade média medida pelo anemómetro ultrasónico para o local foi de 7,06 ms^{-1}, o que corresponde a um desvio de 1,3 % relativamente à média registada pelo anemómetro de copos para o mesmo período. Esse desvio encontra-se justificado pela não correspondência total das respectivas séries de dados, depois da rejeição de 1,8 % dos recolhidos com o anemómetro ultrasónico.

Os níveis de turbulência a 60 m ans foram calculados por dois métodos: convencional, seguindo a norma de operação dos anemómetros de copos; método das coordenadas de corrente, visando a identificação da contribuição individual de cada componente da velocidade do escoamento, longitudinal, transversal ou vertical, para a turbulência global.

Os cálculos da intensidade de turbulência pelo método convencional indicam que a

diferença entre anemómetros ultrasónico e de copos é mínima, registando o ultrasónico 19,2 % contra 19,3 % do anemómetro de copos. Uma vez que a resolução do anemómetro ultrasónico é superior à do anemómetro de copos, verificam-se valores mais elevados para o factor de rajada medido com o primeiro dos instrumentos: 1,49 do ultrasónico contra 1,47 do anemómetro de copos.

A componente vertical média a 60 m ans é ascendente mas de valor desprezável, aproximadamente 3 cms^{-1}. Pode dizer-se que o escoamento no sítio do Pico Gordo é praticamente horizontal, quando o vento sopra dos rumos que puderam ser monitorizados. A inclinação média do escoamento é de 1º. Todavia, para se poder afirmar a conveniência do local para a instalação de aerogeradores, deveria ser avaliada esta característica para ventos de outros rumos.

Como os valores da intensidade de turbulência obtidos para o período em questão são elevados, na ordem dos 19 %, efectuou-se uma análise mais pormenorizada para identificar a contribuição individual de cada componente do escoamento. Para tal os dados do anemómetro ultrasónico foram convertidos para coordenadas de corrente, segundo as direcções longitudinal, transversal e vertical, e as respectivas intensidades de turbulência calculadas de acordo com as expressões: $it_u=\sigma_u/U$, $it_v=\sigma_v/\sigma_u$ e $it_w=\sigma_w/\sigma_u$. Os valores foram calculados para duas bases temporais, médias a cada minuto e a cada 10 minutos, e os seus valores são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Valores da intensidade de turbulência longitudinal, transversal e vertical (60 m ans; 21H20 às 24H00 do dia 26 de Abril)

	Média temporal de1 minuto	Média temporal de 10 minutos
it_u	0.130	0.211
it_v	1.125	0.989
it_w	1.084	0.763
it_v/it_w	1.038	1.296

A intensidade de turbulência longitudinal para médias de 1 minuto apresenta-se dentro de limites considerados normais (0.100 como valor de referência), mas praticamente

duplica quando é calculada para intervalos de 10 minutos. Essa diferença indica que o escoamento pode ter eventos de dimensões intermédias, em escalas de tempo superiores a 1 minuto mas inferiores a 10 minutos, na componente longitudinal do escoamento, os quais merecem uma atenção particular, figura 7.

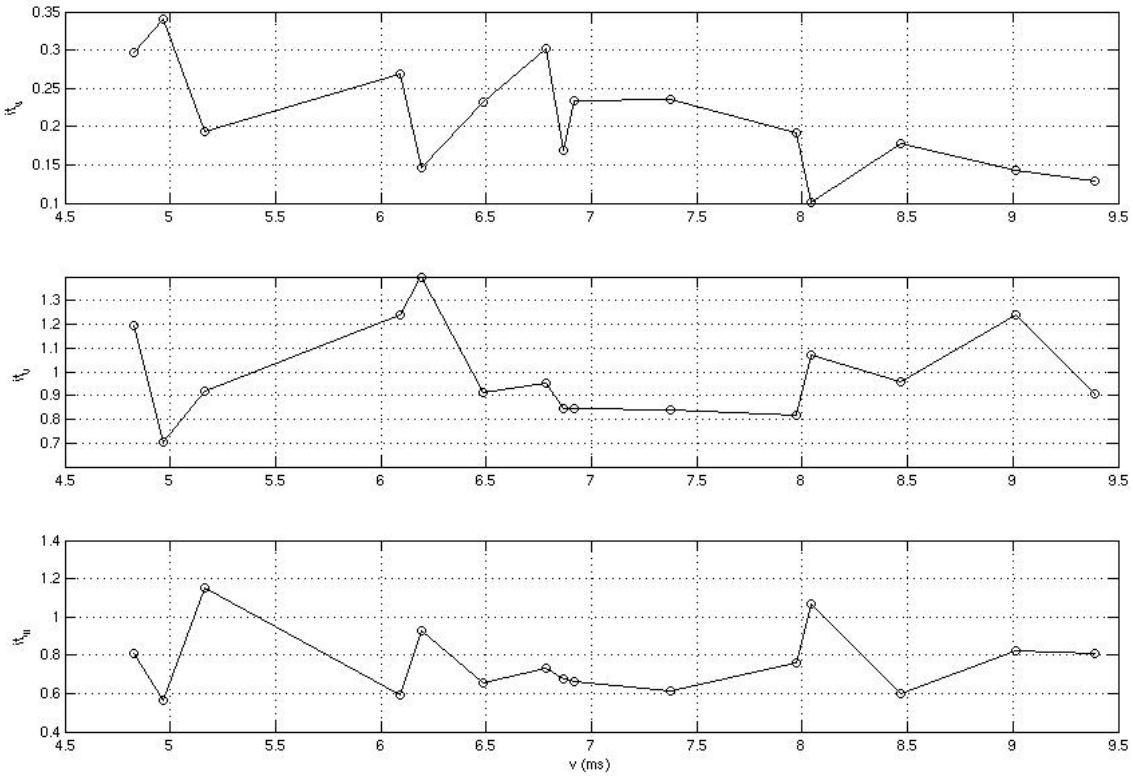

Figura 7 – Intensidade de turbulência longitudinal, transversal e vertical durante o período seleccionado na estação PORT323

A componente transversal apresenta uma redução em torno de 12 % enquanto para a vertical a redução é superior, cerca de 30 %. Verifica-se que a turbulência de pequena escala, inferior a 1 minuto, é praticamente isotrópica, uma vez que as componentes transversais e verticais diferem em apenas 3,8 %. Para escalas turbulentas entre 1 e 10 minutos a turbulência apresenta um grau superior de anisotropia. A componente transversal sobrepõe-se à vertical em 29,6 %.

A análise espectral apresentada na figura 8 confirma as conclusões da análise à tabela 1, uma vez que foram identificados 3 eventos na componente longitudinal. Ao evento mais energético corresponde um período de oscilação de 5,4 minutos, enquanto o segundo e terceiros têm períodos de 2,1 e 1,2 minutos. Verifica-se também que os espectros energéticos das componentes transversal e vertical são muito similares até 1 minuto de oscilação, confirmando a isotropia para estas escalas de tempo inferiores.

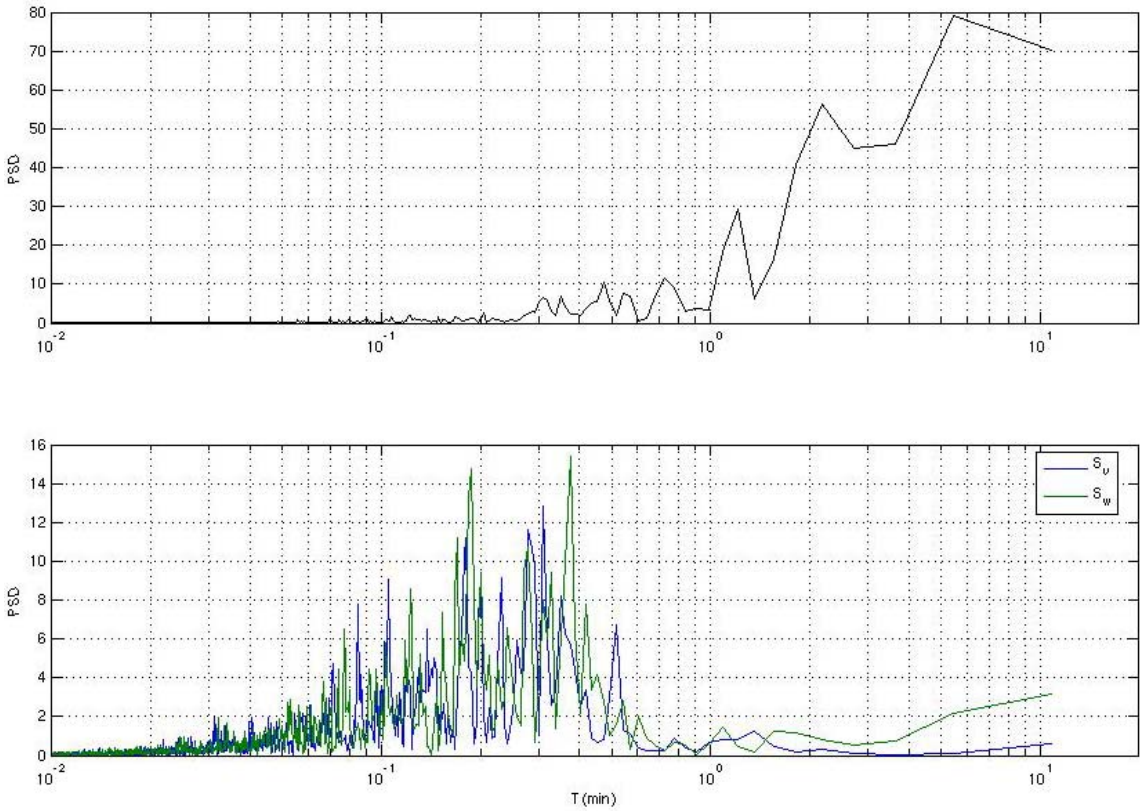

Figura 8 – Decomposição espectral das componentes longitudinal, transversal e vertical da velocidade do vento

Os resultados da análise da turbulência no local são intrigantes, mas na sua interpretação há que atender ao facto de se basearem num conjunto de dados pouco representativo. A análise possível indica a provável existência de eventos de média dimensão induzidos pela complexidade do relevo adjacente. Esses eventos elevam o valor da intensidade de turbulência longitudinal à custa das componentes transversal e vertical e poderão justificar uma campanha adicional de colheita de dados.

4. Conclusões e recomendações

Das medições com anemómetro ultrasónico na estação PORT323 são apresentadas as seguintes conclusões:

1. A turbulência é isotrópica nas pequenas escalas, até 1 minuto.
2. Nas escalas intermédias, entre 1 e 10 minutos, a intensidade de turbulência sobe para cerca de 20 %. Essa turbulência caracteriza-se por não ser isotrópica, sendo a componente longitudinal dominante. As componentes transversal e vertical são amortecidas nessas escalas.

3. Não foi identificado o tipo de fenómeno responsável por esse aumento de turbulência nas escalas intermédias, dado o conjunto de dados ser pouco representativo, tanto em extensão como na gama de velocidades do escoamento que cobre. Exclui-se, contudo, que seja um evento do tipo rajada, uma vez que o factor de rajada se mantém dentro dos valores normais.
4. Nos rumos que foi possível fazer medições o escoamento a 60 m ans é fundamentalmente horizontal, não havendo preocupações quanto à influência perniciosa da componente vertical da velocidade no funcionamento de aerogeradores. Não se vislumbram razões para que com outros rumos de vento surjam componentes verticais de magnitude preocupante.

Reforça-se que estas conclusões estão muito condicionadas pela natureza e extensão da amostra que pôde ser recolhida, sendo recomendável a realização de estudos complementares para identificação dos eventos responsáveis pela anisotropia da turbulência nas escalas intermédias, as mais nocivas ao bom funcionamento dos aerogeradores. Esses estudos poderão ser realizados com base em medições de anemómetros de copos e sensor de direcção potenciométrico, aumentando a resolução temporal da medição. Não deverá ser necessário o recurso ao anemómetro ultrasónico, dado que a turbulência até escalas de 1 minuto é isotrópica, tendo-se também verificado que as componentes verticais são desprezáveis. Apenas no caso de se pretender aprofundar esta última questão para outros rumos de vento e classes de velocidade poderá ser necessária uma repetição da campanha de medição aqui reportada.

Este trabalho, solicitado pela AREAM, Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, foi realizado pela seguinte equipa:

Trabalho de campo (INEGI): Fernando Junça
Abílio Carvalho
Márcio Ribeiro

Processamento dos dados e interpretação (IPB): Luís Frölén Ribeiro

Coordenação (INEGI): Álvaro Rodrigues

INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (Universidade do Porto)
IPB – Instituto Politécnico de Bragança

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

ERAMAC 2 - Maximização da Penetração das Energias Renováveis e Utilização Racional da Energia nas Ilhas da Macaronésia - 2ª fase
Contrato nº 03/MAC/4.3/C3

Projecto co-financiado pela UE – INTERREG IIIB AMC, FEDER – e pela RAM, através da Vice-Presidência do Governo Regional da Madeira, com a colaboração da Empresa de Electricidade da Madeira, S.A., da Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia, e da Direcção Regional de Florestas