

ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO VENTO E ESTIMATIVA DO POTENCIAL EÓLICO NO MUNICÍPIO DE MATA GRANDE-AL

Washington Luiz Félix Correia Filho – wlfefm@hotmail.com
Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas
Maria Regina da Silva Aragão – regina@dca.ufcg.edu.br
Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas

1307 – 1.3. Potencial Eólico

Resumo. Este trabalho teve objetivo analisar a variabilidade da magnitude e direção do vento e estimar o potencial eólico com base nos registros da estação agrometeorológica automática localizada no município de Mata Grande-AL (37°44'W, 9°07'S, 620m). Os dados utilizados correspondem aos horários de 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21 UTC do ano de 2007. O Programa WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program), possibilitou obter a distribuição de Weibull. Observou-se que a Direção Predominante (DP) é do setor Sudeste (entre 120° à 150°) apresentando máxima (mínima) frequência de ocorrência no mês de Agosto (Fevereiro). No período chuvoso (Março à Agosto) foram obtidas as maiores frequências da DP e também os maiores valores de A, U, k e P. A velocidade média anual foi de 8 m/s, muito acima dos 2,5 m/s exigido para que as turbinas eólicas se mantenham em movimento, o potencial eólico anual foi de 422 W/m², e os parâmetros c e k da distribuição de Weibull foram 8,9 m/s e 3,43, respectivamente.

Palavras-chave: Mata Grande, Energia Eólica, Distribuição de Weibull, WASP.

1. INTRODUÇÃO

Em meio à grande preocupação relacionada à escassez dos combustíveis fósseis e de seus derivados em um futuro próximo, e por estes serem os possíveis responsáveis pelo aquecimento global, vários países vem adotando fontes alternativas de energia como a eólica, a geotérmica, a solar, a biomassa, etc. e estas não poluem, são renováveis e provenientes dos ventos, da radiação solar, das marés e etc. (Correia Filho, 2008).

No Brasil, particularmente na região Nordeste, a energia eólica é uma alternativa para complementar a hidroeletricidade, já que o período com maior regime de ventos coincide com o de baixa precipitação de chuvas, o maior potencial eólico brasileiro encontra-se nessa região. O Nordeste do Brasil, por se localizar em baixas latitudes, tem uma situação privilegiada com relação à disponibilidade de energia solar e ventos fortes e persistentes dos alísios de sudeste. A escassez de dados de qualidade adequados ao estudo dos recursos eólicos motivou a instalação de torres eólicas no Nordeste do Brasil através do projeto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) (Chou *et al.*, 2006).

O objetivo deste trabalho é de avaliar a variabilidade do vento, do potencial eólico e da direção predominante do vento para o município de Mata Grande/AL no ano de 2007, e analisar os parâmetros c e k da função de distribuição de Weibull para o mesmo ano.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O município de Mata Grande está localizado no extremo noroeste do Estado de Alagoas, onde se limita a norte com o estado de Pernambuco, a sul com Inhapi e Água Branca (AL), a leste com Canapi (AL) e a oeste com Água Branca (AL), onde pode ser visto na Figura 1. A área municipal ocupa 919,6 km² (3,3% de AL), inserida na meso-região do Sertão Alagoano e na micro-região Serrana do Sertão Alagoano.

O município de Mata Grande tem cerca de 70% de sua área na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja (cerca de 70%), que tem relevo suavemente ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. O restante da área do município está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema (cerca de 30%), formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros, com vales profundos e estreitos (Mascarenhas, 2005).



Figura 1 – Mapa das divisas territoriais do município de Mata Grande. (Fonte: Webcarta, 2008)

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados da intensidade e direção do vento observado à 10 metros de altura na estação agrometeorológica automática localizada no município de Mata Grande/AL (37°44'W, 9°07'S, 620 m) durante o ano de 2007, os correspondentes aos horários de 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21 Z foram obtidos na página <http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/>.

2.2 Programa WAsP

O programa WAsP possibilita a avaliação da influência das características topográficas locais no regime de ventos tais como a variação da altura, a rugosidade, o relevo e os obstáculos presentes no local da análise. Esses fatores são analisados de uma forma independente no programa o qual necessita das seguintes informações básicas (Dutra, 2001):

- Dados que definam o regime dos ventos (que pode ser uma série temporal ou parâmetros de distribuição de Weibull);
- Dados que descrevam a rugosidade do terreno;
- Dados que definam as dimensões de localização dos obstáculos;
- Dados sobre a orografia da região;
- Dados sobre o sistema eólico que se pretende utilizar, principalmente a curva de potência da turbina eólica.

Assume – se que a utilização dos dados limpos esteja restrita a uma região de 200 km x 200 km, que corresponde ao limite de aplicação do WAsP para regiões que apresentam uma topografia relativamente plana. Em regiões onde a topografia é muito acidentada e complexa, a aplicação do WAsP reduz-se a locais próximos ao ponto de coleta de dados (Dutra, 2001). Este programa está disponível na página <http://www.wasp.dk/>

2.3 Distribuição de Weibull

A função de distribuição de Weibull é um dos métodos mais eficazes para se calcular o potencial eólico, a obtenção da função de distribuição de Weibull requer dois parâmetros fundamentais: k, o fator de forma e c, o fator de escala. Ambos são funções de U, a velocidade do vento, e de σ_U , o desvio padrão da velocidade do vento. Foi apresentado por Manwell *et al.* (2002) que a função de densidade de probabilidade de Weibull é dada pela Eq. (1):

$$P(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

Na qual:

- P(U) – Probabilidade de Weibull;
- k – Fator de forma;
- c – Fator de escala (m/s);
- U – Velocidade do vento (m/s).

O parâmetro k é adimensional, P(U) pode variar entre 0 e 1, segundo Justus (1978) pode ser obtida através da Eq. (2):

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{U}}\right)^{-1,086} \quad (2)$$

Na qual:

σ - Desvio padrão da velocidade média do vento (m/s);

\bar{U} - Velocidade média do vento (m/s).

Segundo Borba (2005) para obter os valores do Desvio padrão (σ), utiliza-se a Eq.(3):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(U - \bar{U})^2}{N - 1}} \quad (3)$$

Na qual:

U - Valor atual da velocidade (m/s);

\bar{U} - Velocidade Média do vento (m/s)

N - Número de Amostras

O fator de escala c da função de distribuição de Weibull apresentado por Burton *et al.* (2001) é obtido pela Eq. (4):

$$c = \frac{\bar{U}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (4)$$

Na qual:

c - Fator de escala (m/s);

\bar{U} - Velocidade do vento (m/s);

Γ - Função Gama.

Γ é a função de distribuição Gama que foi apresentada por Borba (2005) é dada pela Eq. (5):

$$\Gamma = \int_0^{\infty} t^{(x-1)} \exp(-t) dt \quad (5)$$

Na qual:

x - valor da velocidade média

t - Período de estudos em meses

O potencial eólico (P) obtido à partir de uma turbina eólica é apresentado por Burton *et al.* (2001) como expresso pela Eq. (6):

$$P = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \quad (6)$$

Na qual:

P - Potencial eólico (W/m²);

ρ - Densidade do ar (kg/m³);

A - Área do rotor (m²);

U - Velocidade média do vento (m/s);

C_p- Limite de Betz (%).

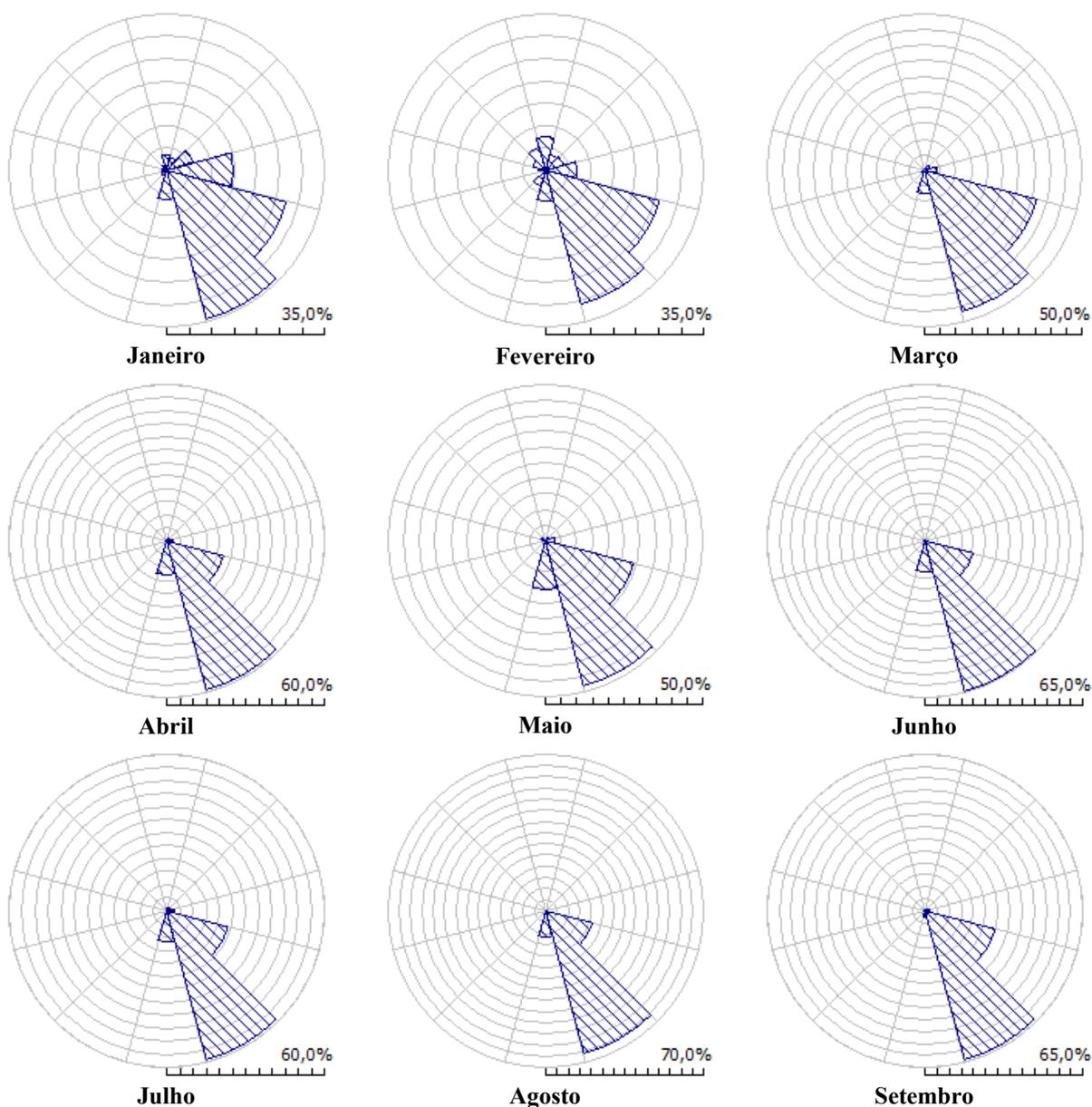
O valor de C_p é de 0,59, sendo este o limite máximo em que o rotor poderá captar a energia produzida pelos ventos através das pás dos aerogeradores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Direção do vento

A Figura 3 mostra a variação mensal da direção predominante mensal do vento em (%) para os meses de Janeiro à Dezembro de 2007 gerados no Programa WAsP.

Todos os gráficos da rosa dos ventos gerados pelo Programa WAsP indicam que a direção predominante varia entre 120 e 150°, com frequência mínima entre 35% nos meses de Janeiro e Fevereiro, e máxima de 70% no mês de Agosto. Outro fato importante é a frequência da DP (Direção Predominante) no setor Sudeste foi maior durante o período chuvoso variando entre 50 à 70%, do que no período seco variando entre 35 à 50%.



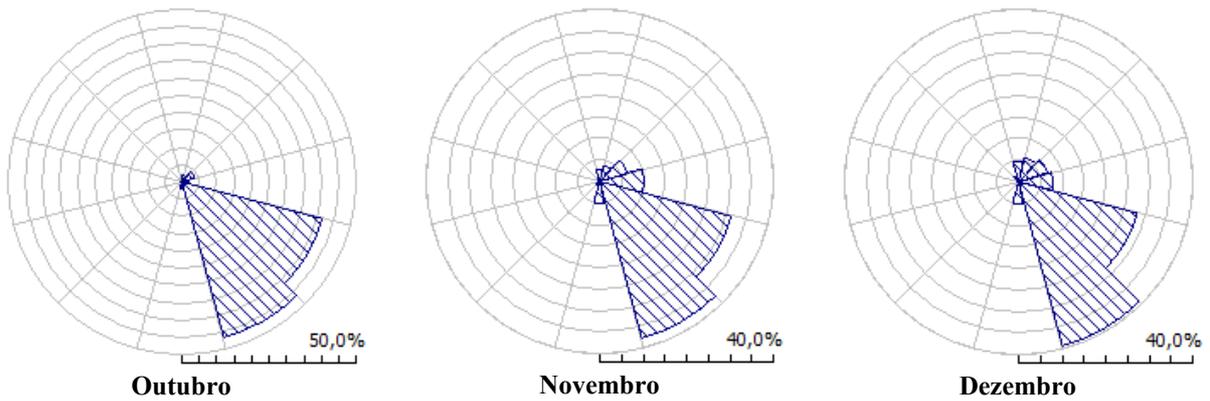
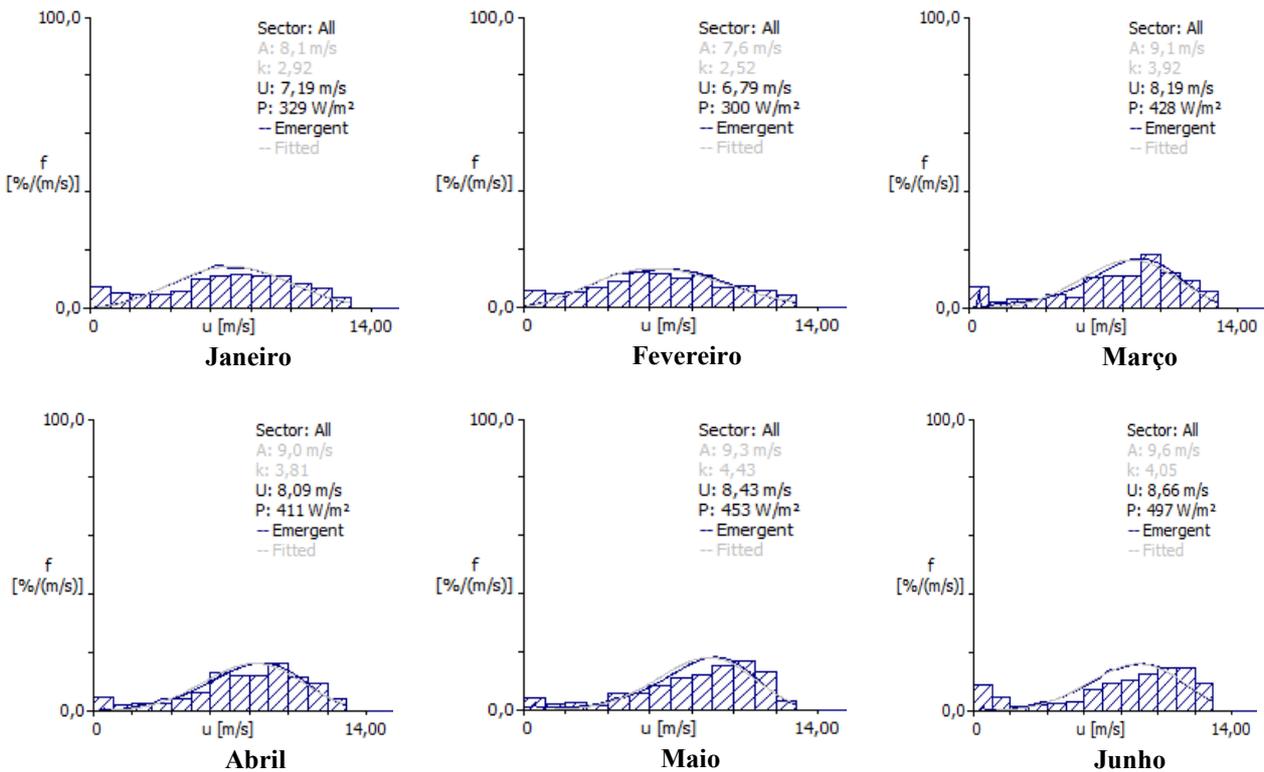


Figura 3 – Variação mensal da direção predominante do vento (em %) para os meses de Janeiro à Dezembro de 2007 geradas pelo Programa WasP. A rosa dos ventos está dividida em 8 setores de 30°, e o intervalo da escala é de 5%, e sua escala varia com o aumento da circunferência externa.

3.2 Velocidade do vento

A Figura 4 mostra a variação mensal da velocidade do vento (m/s) em função da frequência da velocidade do vento (%) para os meses de Janeiro à Dezembro de 2007 gerados no Programa WASP, mostrando que houve homogeneidade da distribuição percentual da velocidade do vento para todos os meses. O mês de Agosto se mostrou com as maiores percentuais acima de velocidade nas velocidade maiores que 10 m/s. Observou-se que os meses que obtiveram as menores frequências da DP no setor Sudeste registraram os menores índices de A, k, U e P, durante o período seco, enquanto os meses com maiores frequências da DP no setor Sudeste durante o período chuvoso e registrando os maiores índices.



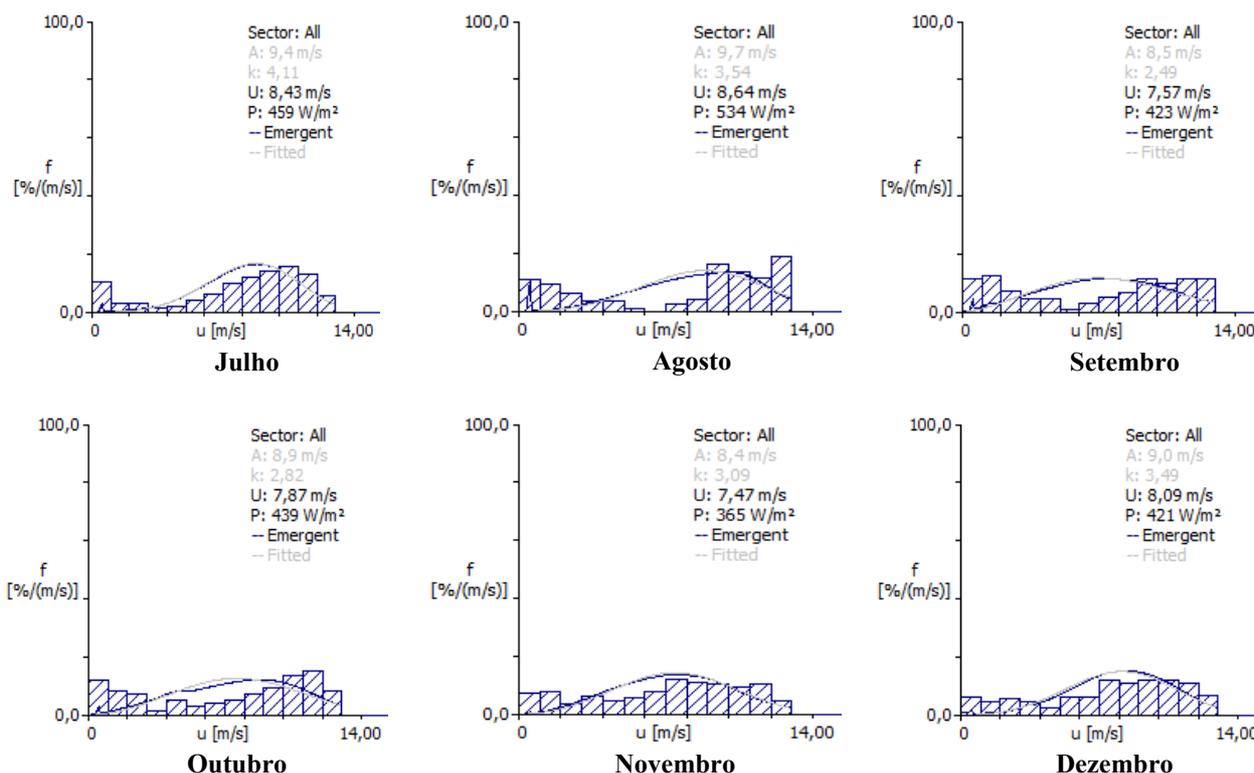


Figura 4 – Variação mensal da velocidade do vento (m/s) em função da frequência da velocidade do vento (em %) para os meses de Janeiro à Dezembro de 2007 gerados pelo Programa WAsP. E cada Figura possui informações dos valores de A, k, U e P no canto superior direito dos meses correspondentes.

3.3 Análise das variáveis k, A, U e P

Na Tabela 1 serão mostrados a variabilidade mensal dos valores de k, A, U e P, de Janeiro à Dezembro de 2007 obtidos pela série de dados.

Tabela 1 - Variabilidade mensal dos valores de k, A, U e P de Janeiro à Dezembro de 2007.

Mês	k (s/ dim)	A (m/s)	U (m/s)	P (W/m ²)
Janeiro	2,92	8,10	7,19	329
Fevereiro	2,52	7,60	6,79	300
Março	3,92	9,10	8,19	428
Abril	2,81	9,00	8,09	411
Maió	4,43	9,30	8,43	453
Junho	4,05	9,60	8,66	497
Julho	4,11	9,40	8,43	459
Agosto	3,54	9,70	8,64	534
Setembro	2,49	8,50	7,57	423
Outubro	2,82	8,90	7,87	439
Novembro	3,09	8,40	7,47	365
Dezembro	3,49	9,00	8,09	421
Média	3,43	8,90	7,95	422

Diante a Tabela 1 mostra que a variabilidade mensal dos valores de k, A, U e P de Janeiro à Dezembro de 2007 mostra claramente que durante o período chuvoso foram encontrados os melhores resultados nos meses de Março à Agosto, e os piores se encontraram no período seco, de Setembro à Dezembro, Janeiro e Fevereiro.

O valor de k determina o comportamento da série de dados, concordando com Martínez (2003) esse parâmetro assume valores, geralmente, entre 1,5 e 3, e nos dá a idéia da regularidade dos ventos, ou seja, quanto maior o valor de k, maior será a regularidade dos ventos em termos de velocidade, isto significa que $k > 3$ os valores serão mais homogêneos, a influência externa sobre a velocidade do vento como: turbulência, obstáculos e outros fatores são insignificantes. Verificou-se que o valor anual de k foi de 3,43, variando de 2,49 à 4,43 durante o meses de Setembro e

Maio respectivamente, mesmo sabendo que a altura do anemômetro está à 10 metros do solo, e o município de Mata Grande está a 600 metros de altitude em relação ao nível do mar, mas foram obtidos bons índices de k.

O valor de anual de A foi de 8,9 m/s, variando entre 7,6 m/s à 9,7 m/s nos meses de Fevereiro e Agosto respectivamente, este parâmetros está em função do vento, ele varia com o aumento ou redução da velocidade do vento.

A velocidade média anual (U) foi de 7,95 m/s, variando entre 6,79 m/s à 8,66 m/s, durante os meses de Fevereiro e Junho respectivamente, e evidencia que os maiores valores foram obtidos no período chuvoso que no período seco, este valor é muito importante, segundo Vaz (2006) a geração elétrica pelas turbinas se inicia com velocidades de ordem de 2,5 e 3,0m/s.

O potencial eólico(P) anual em 2007 foi de 422 W/m², variando entre 300 W/m² à 534 W/m² durante os meses de Fevereiro e Agosto respectivamente.

4. CONCLUSÕES

- A direção predominante sobre o município de Mata Grande no indica a maior frequência no setor Sudeste, variando entre 120 à 150°, sendo mais intenso no período chuvoso do que no seco;
- A distribuição da frequência dos ventos foi homogênea, variando entre 0 à 13 m/s;
- O potencial eólico médio anual foi de 422 W/m², registrando os mínimos e máximos de 300 W/m² e 534 W/m² nos meses de Fevereiro e Agosto respectivamente;
- A velocidade média anual foi de 7,95 m/s, variando entre 6,79 m/s e 8,66 m/s, ficando acima dos 2,5 m/s do recomendado para que o rotor comece a funcionar;
- Os valores do índice c permaneceu acima de 8 m/s, enquanto o valor de k esteve acima de 2,49, este valores representados à uma altura de 10 m;
- O mês que foram obtidos os melhores e piores índices foram os meses de Agosto e Fevereiro, que possivelmente relacionados com a direção predominante do setor Sudeste;
- Propor trabalhos mais aprofundados e detalhados na área de estudo, que foram obtidos resultados expressivos quanto a velocidade e conseqüentemente haveria uma possível produção energética geradas pelo vento.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ – Brasil.

REFERÊNCIAS

- Borba, J.C.C., 2005, Identificação do Potencial Eólico no estado de Alagoas utilizando dados de reanálises.. Dissertação de Mestrado, ICAT, UFAL, Maceió.
- Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E., 2001, Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons Ltd, 681 pp.
- Chou, S. C.; Paiva Neto, A. C.; Chagas, D. J.; Lyra, A.A.; Pereira, E. B., 2006 Mapeamento Eólico para o Nordeste. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, 2006. Anais...Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, CD ROM.
- Correia Filho, W. L. F., 2008, Influência do El Niño e La Niña no comportamento do vento para os municípios de Boca da Mata, Campo Alegre e Senador Teotônio Vilela/AL. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, ICAT, UFAL, Maceió.
- Dutra R. M., 2001, Viabilidade Técnico-econômica da energia eólica face ao novo Marco Regulamentário do setor elétrico brasileiro, Dissertação de Mestrado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Google Maps, 2008, Mapa do Relevo de Mata Grande/AL.
- Manwell, J.F., McGowan, J.G., Rogers A.L., 2002. Wind Energy Explained - Theory, Design And Application, John Wiley & Sons Ltd., England, 590 pp..
- Martínez, C., 2003, Principios de conversión de la energía eólica. In: Amenedo, J. L. R.; Gómez, S. A.; Díaz, J. C. B. Sistemas eólicos de producción de energía eléctrica. Madrid: Rueda, p. 27-96.
- Mascarenhas, J. de C.; Beltrão B. A.; Junior, L. C. de S., 2005, Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Mata Grande, estado de Alagoas. Recife: CPRM/PRODEEM.
- Justus, C. G, 1978. Winds and Wind System Performance, Franklin Institute Press, Philadelphia, PA.
- Vaz , A., 2006 Naturlink. Energia – Quem não precisa dela? Disponível em:<http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=2092&iLingua=1>.
- Webcarta, 2008, Mapa das divisas territoriais do município de Mata Grande/AL.

Abstract. *This study aimed to analyze the variability of the wind speed and direction and to estimate the wind power based on the data collected by automatic agrometeorological station located in Municipality of Mata Grande-AL (37°44' W, 9°07'S, 620m). The data for 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 and 21 UTC. The WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) provided the monthly distribution of the wind speed and direction, along with the values of the c and k parameters of Weibull distribution. It was observed that the Predominant Direction (DP) was in the southeast sector (between 120° to 150°) with maximum (minimum) frequency of occurrence in August (February). The rainy season (March to August) has the highest frequencies of DP and the highest values of A, U, P, k also. The annual mean wind speed was 8 m/s, well above the 2.5 m/s required for the wind turbines remain in motion, the annual wind power was of 422 W/m², and the c and k parameters of the Weibull distribution were 8.9 m/s and 3.4, respectively..*

Key words: *Mata Grande, Wind Energy, Weibull Distribution, WASP.*