

Após correções, pode ser aceito

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DO CAMPUS DA FACULDADE ASSIS GURGACZ – FAG EM CASCAVEL – PARANÁ

Rafael Gonçalves dos Santos, Wesley Esdras Santiago, Patrick Diesel, Jair Antônio Siqueira e Reginaldo Ferreira da Santos (Orientador/UNIOESTE),
e-mail:agronomia@fag.edu.br

Faculdade Assis Gurgacz/Curso de Agronomia – Cascavel – PR.
Universidade Estadual do Oeste do Paraná/Centro de Ciências Exatas e
Tecnológicas – Cascavel - PR

Palavras-chave: Energia eólica, vento, fontes de energia.

Resumo:

O aumento da produção de gás carbônico vem se tornando uma causa de grande preocupação entre os ambientalistas. Por essa razão, surge a necessidade de explorar fontes alternativas de energias renováveis, dentre elas a energia eólica, para diminuir o impacto sobre o meio ambiente. Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial eólico do campus da Faculdade Assis Gurgacz. A metodologia adotada baseou-se na coleta diária de dados referentes à velocidade do vento e temperatura na estação meteorológica do campus da FAG. A potência eólica disponível foi calculada por equação convencional da literatura a partir dos dados diários das potências eólicas disponíveis por unidade de área, foram obtidas as médias mensais e sazonais. As médias diárias de velocidade do vento ($m\ s^{-1}$) foram convertidas para as alturas de 7, 10, 15, 30 e 50 m. A partir dos dados coletados, observou-se que o potencial eólico mínimo exigido para viabilizar a construção de uma usina eólica ($15\ W\ m^2$) foi registrado durante os meses de agosto e outubro, sendo as médias registradas 20,054; 20,536 e 18,268 $W\ m^2$, respectivamente. Porém, a análise dos registros de estimativa da variação das alturas de torre, indica que há viabilidade de utilização do sistema eólico em qualquer período, desde que o aerogerador seja posicionado a uma altura mínima de 50 m.

Introdução

O aumento da produção de gás carbônico (CO_2) pela queima de combustíveis fósseis e de florestas é um problema que preocupa a todas as nações e que vem ganhando a preocupação de ambientalistas em todo o mundo. É válido lembrar que a emissão deste gás aumentou quatro vezes após 1950, sendo os países industrializados responsáveis por quase metade dessas emissões. Somente os Estados Unidos e o Canadá respondem por cerca de 26% (Giansanti, 1998; Silva *et al.*, 2002).

Esses dados colocam o desafio de atender à demanda mundial de energia buscando amenizar impactos de várias ordens. Além disso, os combustíveis fósseis são uma fonte de energia não renovável. As previsões mais pessimistas indicam o seu virtual esgotamento nos próximos 50 anos. Assim foi preciso buscar fontes alternativas de energia renováveis que diminuíssem a incidência de impactos ambientais. Dentre as opções viáveis, estão o uso da biomassa, o álcool etílico, a energia solar e a energia eólica (Giansanti, 1998; Leite *et al.*, 2006).

Através da história o homem aprendeu a utilizar a força dos ventos. No século XIV, os holandeses alcançaram a liderança na melhoria continuada dos projetos de moinho de vento. Eles criaram um propulsor de pás e usaram o vento para drenar os pântanos e lagos do delta do rio Rohone. Na América, os imigrantes vindos da Europa usaram os moinhos de vento para moagem de trigo, bombeamento de água e para prover trabalho mecânico para serrarias. No século XX, os pequenos moinhos de vento foram utilizados para bombeamento de água e geração de energia elétrica. Nos anos 70, com o primeiro choque do petróleo, a geração de energia elétrica via sistemas eólicos, tornou-se em algumas situações, economicamente viável e estratégica para muitas nações. Muitos institutos de pesquisa dedicam esforços no desenvolvimento de sistemas eficientes, de baixo custo e larga faixa de operação (Tolmasquim, 2003; Silva *et al.*, 2000).

A energia eólica é uma opção limpa e relativamente barata (apenas o preço de sua instalação é elevado). Ela movimenta moinhos de vento para bombear água para sistemas de irrigação e para animais. No entanto, a geração eólica possui desvantagens como fonte regular de energia, e por isso é menos confiável que as fontes convencionais. A quantidade de energia diária disponível pode variar muito de uma estação do ano para outra, em um mesmo local, e seu uso fica limitado a lugares de ventos fortes e relativamente constantes (Silva, *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2003).

Antes, porém, de programar um projeto para a utilização de energia eólica, é essencial que análises climatológicas dos ventos locais sejam realizadas, com o intuito de verificar quais as regiões mais apropriadas para a utilização desta fonte renovável de energia (Souza, 1993).

No Brasil, grande atenção tem sido dirigida para o estado do Ceará, por ter sido um dos primeiros locais a realizar um programa de levantamento do potencial eólico através de medidas de vento com modernos anemógrafos computadorizados. Entretanto, não foi apenas na costa do Nordeste que áreas de grande potencial eólico foram identificadas. Minas Gerais e Paraná, por exemplo, têm centrais eólicas, afastadas da costa, em funcionamento, com excelentes condições de vento (Camargo, 2005).

Considerando assim a importância da utilização de fontes alternativas para geração de energia, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial eólico do campus da Faculdade Assis Gurgacz – FAG, localizada em Cascavel – Paraná.

Materiais e Métodos

O presente trabalho baseou-se em uma série de dados diários de velocidade do vento, coletados em períodos de cinco em cinco minutos, na estação meteorológica do campus da Faculdade Assis Gurgacz – FAG, Cascavel – Paraná, no período de janeiro a dezembro de 2007.

Caracterização da velocidade do vento e avaliação do potencial eólico

Partindo do proposto por Wagner (1989), calculou-se a velocidade média diária a partir do total diário acumulado deste registro. A potência eólica disponível por unidade de área foi calculada pela equação 1:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \cdot V^3$$

em que,

- potência eólica disponível por unidade de área, W m²
- massa específica do ar, Kg m³;
- velocidade do vento, m s⁻¹.

Para calcular a massa específica do ar, foram considerados os efeitos da temperatura do ar e da pressão. A partir do total diário acumulado dos registros de temperatura, calculou-se a temperatura média diária. Posteriormente, para o cálculo da massa específica do ar, adotou-se a equação 2:

$$\rho = \frac{P \cdot 133,3224}{287(T + 273,15)}$$

em que,

- massa específica do ar, Kg m³;
- temperatura ambiente no horário da medição, °C;
- P- pressão, Bar.

A partir dos dados diários das potências eólicas disponíveis por unidade de área, foram obtidas as médias mensais e sazonais.

Conversão da velocidade para a altura de torre do aerogerador

As médias diárias de velocidade do vento (m s⁻¹) foram convertidas para as alturas de 7, 10, 15, 30 e 50 m por meio da equação proposta por Pasquill (1949), citada por Wagner (1989), em que V1 e V2 são as velocidades para as alturas Z1 e Z2, respectivamente, equação 3:

$$\left(\frac{V2}{V1}\right) = \left(\frac{Z2}{Z1}\right)^{0,143}$$

Resultados e Discussão

Através das médias de velocidade do vento (km h^{-1}) em 24 horas, convertidas em m s^{-1} , foram obtidas as médias mensais e sazonais. Analisando-se estes dados, verificou-se que a velocidade média do vento não se apresenta superior a 3 m s^{-1} em nenhum mês do período analisado, (Figura 1). Segundo Souza (1993) para que um sistema eólico torne-se viável, a velocidade do vento deve ser superior a 3 m s^{-1} .

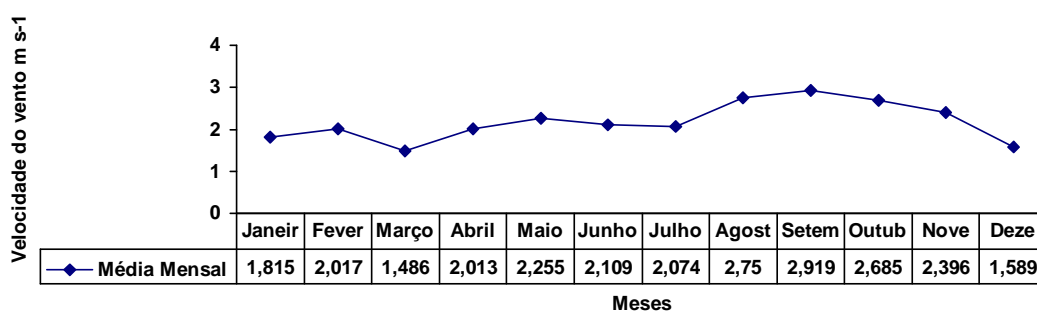


Figura 01 - Médias mensais da velocidade do vento (m s^{-1}) durante o ano de 2007 a 2m de altura.

A partir dos dados obtidos, verifica-se que em nenhum dos meses atingiu a velocidade de vento mínima (3 m s^{-1}), preconizada por Souza (1993), para viabilizar a utilização do sistema eólico. Verifica-se que durante os meses de agosto a outubro foram obtidas as maiores médias, sendo respectivamente, $2,75$; $2,919$ e $2,685 \text{ m s}^{-1}$. Em contrapartida, os meses de março e dezembro registraram as menores médias para velocidade de vento, sendo $1,486$ e $1,589 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente.

Observa-se que durante o inverno e primavera, foram registradas as maiores médias de velocidade do vento, sendo $2,46$ e $2,38 \text{ m s}^{-1}$ respectivamente.

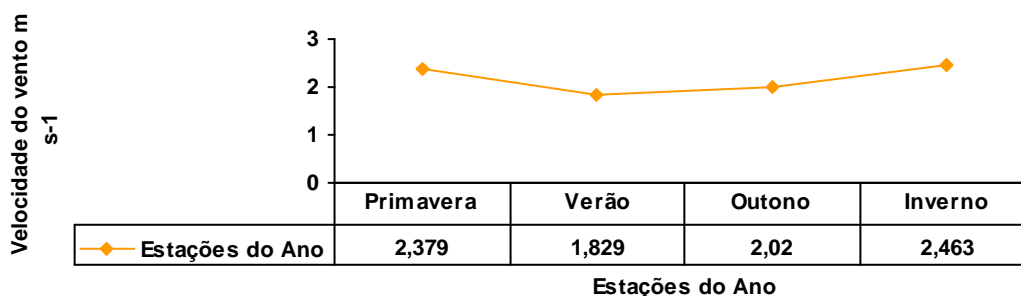


Figura 2 - Médias sazonais da velocidade do vento (m s^{-1}) durante o ano de 2007 a 2m de altura.

A partir das velocidades médias diárias, utilizando-se da equação 1, foram obtidas, diariamente, as potências eólicas disponíveis por unidade de área e suas respectivas médias mensais e sazonais, sendo as médias mensais e algumas estatísticas de dispersão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios mensais de velocidade do vento e potencial eólico.

Mês	Média V V (m/s)	Média PE (W m ²)	Mediana PE (W m ²)	Desvio Padrão PE	Valor Mínimo PE	Valor Máximo PE	CV (%) PE
Janeiro	1,815	5,87	3,222	8,235	0,121	31,221	40,28
Fevereiro	2,017	7,12	3,584	7,904	0,321	31,062	11,01
Março	1,486	2,755	2,018	2,986	0,17	11,049	08,38
Abril	2,013	7,012	3,719	7,422	0,355	27,341	05,84
Maio	2,255	11,598	5,493	15,085	0,188	67,004	30,06
Junho	2,109	8,372	4,753	9,944	0,15	51,308	18,77
Julho	2,074	8,611	5,784	9,826	0,303	36,405	14,11
Agosto	2,75	20,054	9,122	24,799	0,674	100,926	23,66
Setembro	2,919	20,536	16,363	18,343	1,039	70,623	9,32
Outubro	2,685	18,268	10,887	20,671	0,202	80,418	13,14
Novembro	2,396	14,684	4,761	21,464	0,1	86,805	46,18
Dezembro	1,589	4,054	1,894	5,641	0,144	24,746	39,12

De acordo com Souza (1993), a potência eólica acima de 15 W m² torna viável o uso de energia eólica na agricultura. Assim sendo, a partir dos dados apresentados na Tabela 1, verifica-se que durante os meses de agosto e outubro o local analisado teria potencial eólico disponível, visto que os valores registrados foram 20,054; 20,536 e 18,268 W m², respectivamente.

No mês de setembro observa-se um crescimento da potência eólica média (20,536 W m²) e redução do coeficiente de variação quando comparado com os demais meses (CV 89,32%), caracterizando que neste mês, foram registrados menor heterogeneidade nos dados com relação a sua média

Em contrapartida, os meses de março, dezembro e janeiro registraram as menores médias de potencial eólico disponível, sendo respectivamente, 2,755; 4,054 e 5,87 W m². O mês de novembro apresentou o maior índice de coeficiente de variação (CV 146,18%), indicando que este foi o período de maior heterogeneidade dos dados.

As médias sazonais de potência eólica são apresentadas na Tabela 2.

Ao analisar o potencial eólico disponível em cada estação do ano, verifica-se que durante a primavera e o inverno, a potência eólica mínima exigida para a implantação de um sistema eólico, segundo Souza (2003), quase é atingido, visto que as médias registradas foram respectivamente 14,632 e 14,457 W m².

Ressalta-se ainda que, durante a primavera foi registrada a maior heterogeneidade dos dados (CV 50,31%).

Tabela 2 - Valores médios sazonais da potência eólica disponível por unidade de área em W m² a 2 m de altura

Estação do Ano	Média (W m ⁻²)	Mediana (W m ⁻²)	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	CV (%)
Primavera	14,632	5,706	19,84	0,1	86,805	50,31
Verão	5,707	2,841	7,28	0,121	31,221	41,72
Outono	8,131	3,643	11,31	0,17	67,004	43,36
Inverno	14,457	7,536	17,909	0,15	100,926	43,07

Silva et al., (2004), avaliaram o potencial eólico de algumas localidades no estado de Santa Catarina. A partir dos dados coletados, concluiu-se que as regiões mais promissoras localizam-se no litoral sul catarinense, em Laguna, no município de Água Doce. Notou-se uma boa constância de vento em São Joaquim e Água Doce durante o período analisado, sendo que as velocidades médias encontradas foram 5,70 e 6,40 m s⁻¹, respectivamente.

A partir da determinação da potência eólica disponível no local, converteu-se a velocidade km/h para m s⁻¹ e a partir daí calculou-se a velocidade do vento a uma altura de 7, 10, 15, 30 e 50 m, considerando que os dados coletados na estação baseavam-se no registro a 2 metros de altura, com o intuito de verificar o comportamento da potencial eólico em diferentes alturas.

As médias mensais de velocidade de vento (m s⁻¹) e a potência eólica gerada em cada altura de torre, são apresentadas na Tabela 3 e 4, respectivamente.

Conforme os registros apresentados na Tabela 3 e 4, a utilização de um sistema eólico é viável durante a primavera e o inverno, desde que o aerogerador seja posicionado em uma torre com altura mínima de 10m. Nas demais estações, verão e outono, a velocidade do vento mínima exigida

para a utilização deste sistema gerador de energia (3 m s^{-1}) e a potência eólica necessária (15 W m^2), não foram registradas.

Tabela 3 - Valores médios sazonais estimados de velocidade do vento (m s^{-1}) a variação na altura da torre

Mês	Variáveis	Altura das Torres (m)				
		7	10	15	30	50
Primavera	Média	2,85	3,00	3,17	3,50	3,77
	DP	1,43	1,151	1,60	1,76	1,90
	Máximo	6,29	6,62	7,02	7,75	8,34
	Mínimo	0,66	0,69	0,73	0,81	0,87
	CV	50,32	50,32	50,32	50,32	50,32
Verão	Média	2,20	2,31	2,45	2,71	2,91
	DP	0,91	0,96	1,02	1,12	1,21
	Máximo	4,48	4,72	5,00	5,52	5,94
	Mínimo	0,70	0,74	0,78	0,87	0,93
	CV	41,44	41,44	41,44	41,44	41,44
Outono	Média	2,39	2,51	2,66	2,94	3,17
	DP	1,02	1,07	1,13	1,25	1,35
	Máximo	5,72	6,02	6,38	7,05	7,58
	Mínimo	0,79	0,83	0,88	0,97	1,04
	CV	42,59	42,59	42,59	42,59	42,59
Inverno	Média	2,92	3,07	3,26	3,60	3,87
	DP	1,25	1,32	1,39	1,54	1,66
	Máximo	6,57	6,91	7,32	8,09	8,70
	Mínimo	0,75	0,79	0,84	0,92	0,99
	CV	42,81	42,81	42,81	42,81	42,81

DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de variação.

Em contrapartida, a partir do posicionamento de um aerogerador em uma torre com altura mínima de 30 metros, o sistema eólico torna-se viável em qualquer estação do ano, embora, os períodos de maior produção sejam durante a primavera e o inverno, períodos estes, que registraram as maiores velocidades de vento (m s^{-1}).

Silva e Burgueño (2001) estimaram o potencial eólico a partir de tabelas de probabilidades da velocidade média pentadal do vento, em Pelotas-RS. A partir da análise, os autores observaram que as potências eólicas estimados para os níveis de probabilidade de 25, 50 e 75%, apresentam-se como razoáveis para diversas atividades agrícolas e turísticas na região.

Silva et al., (2004) analisaram o potencial eólico de algumas localidades do Rio Grande do Sul. As estimativas de potencial eólico obtidas mostraram que os valores estimados para os níveis de probabilidade de 25, 50 e 75% da velocidade média pentadal, apresentaram-se adequados para diversas atividades agrícolas e turísticas nas quatro localidades avaliadas. A partir das velocidades médias anuais de vento, verificou-se que as localidades avaliadas comprovaram as indicações de regiões favoráveis ao

uso de energia eólica, expressas no mapa do potencial eólico do Rio Grande do Sul. As velocidades médias registradas foram de 1,526 m s⁻¹, 1,577 m s⁻¹, 1,046 m s⁻¹ e 0,852 m s⁻¹ em Caxias do Sul, Campo Bom, Santa Rosa e Taquari, respectivamente.

Tabela 4 - Análise das médias sazonais estimadas de potência eólica (W m²) a variação na altura da torre

Mês	Estatística	Potência eólica (W m ²)				
		7	10	15	30	50
Primavera	Média	25,04	29,18	34,73	46,75	58,21
	DP	33,95	39,57	47,08	63,39	78,92
	Máximo	148,30	172,81	205,65	276,86	344,70
	Mínimo	0,17	0,20	0,24	0,32	0,40
	CV	135,58	135,58	135,28	135,58	135,58
Verão	Média	9,91	11,54	13,74	18,49	23,02
	DP	12,56	14,64	17,42	23,45	29,19
	Máximo	53,66	62,53	74,42	100,19	124,73
	Mínimo	0,21	0,24	0,29	0,39	0,48
	CV	126,80	126,80	126,82	126,80	126,80
Outono	Média	12,94	15,08	17,95	24,17	30,09
	DP	17,52	20,42	24,30	32,72	40,73
	Máximo	111,44	129,86	154,43	208,05	259,02
	Mínimo	0,29	0,34	0,40	0,54	0,68
	CV	135,37	135,37	135,37	135,37	135,37
Inverno	Média	23,46	27,34	32,53	43,80	54,53
	DP	29,20	34,03	40,49	54,51	67,87
	Máximo	168,61	196,49	233,82	314,79	391,91
	Mínimo	0,25	0,29	0,35	0,47	0,58
	CV	124,46	124,46	124,46	124,46	124,46

DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de variação.

Existem diversos modelos de aerogeradores, porém, neste trabalho, realizou-se uma análise dos modelos Whisper H100, H200 e H500. O primeiro, Whisper H100, é projetado para operar em locais com ventos médios de 5,4 m s⁻¹; o segundo, Whisper H200, é projetado para locais com velocidade inferior a 5,4 m s⁻¹; e o terceiro, o Whisper H500 também trabalha com ventos de 5,4 m s⁻¹.

Segundo informações do fabricante, o Whisper H100, tem um custo em dólar de \$ 21.476,80; o Whisper H200 tem um custo inicial de \$ 25.940,80 e o Whisper H500 \$ 67.208,00 .

Ressalta-se ainda que, conforme se aumenta a altura da torre para o posicionamento do aerogerador, a velocidade do vento e a potência eólica, aumentam proporcionalmente. Assim sendo, quanto maior a altura da torre, maior a velocidade do vento e, conseqüentemente, maior a produção de energia eólica.

Conclusões

Os maiores valores médio de velocidade vento foram encontrados para os meses de agosto e setembro respectivamente, 2,75 e 2,91 m s⁻¹ acompanhando os potenciais eólico de 20,05 e 20,53 W m², o que justifica a instalação de aerogeradores a partir da altura de torre de 50m para o local estudado.

Referências

- Camargo, A. S. G. *Análise da operação das usinas eólicas de Camelinho e Palmas e avaliação do potencial eólico de localidades no Paraná*. 2005. 248 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2005.
- Giansanti, R. *O desafio do desenvolvimento sustentável*. 3 ed. São Paulo: Atual, 1998.
- Leite, A.P.; Borges, C.L.T.; Falcão, D.M. Modelagem de Usinas Eólicas para estudos de confiabilidade. *Revista Controle & Automação*. [S/L], v. 17, 2006.
- Oliveira, J. *et al.* Análise climatológica do potencial eólico na região de Cascavel – PR. *Engenharia Agrícola*. Jaboticabal, v. 23, 2003.
- Silva, B.B. *et al.* Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v. 6, 2002.
- Silva, J. B.; Souza, D. O.; Zepka, G. S. Análise do potencial eólico de algumas localidades do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v. 12, n. 1, 2004.
- Silva, G. K. *et al.* Metodologia de avaliação do potencial de geração eólica para o estado de Santa Catarina. Trabalho apresentado no III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Florianópolis, 2004.
- Silva, J. B.; *et al.* Estimativa do potencial eólico a partir de tabelas de probabilidades da velocidade média pentadal do vento, na Cascata, em Pelotas-RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v.9, n.2, 2001.
- Silva, J.B.; Larroza, E.G.; Burguenô, L.E.T. Estimativa do potencial eólico no Campus da Universidade Federal de Pelotas, em Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v.8, 2000.
- Souza, J.W. *Análise climatológica do potencial eólico no Estado de Minas Gerais*. 1993. 101 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- Tolmasquim, M.T. *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- Wagner, C. S. *Velocidade e direção predominante dos ventos no Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, 1989.