

UTILIZAÇÃO DE AEROGERADORES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO CEARÁ

ERIALDO DE OLIVEIRA FEITOSA, DANIEL ALBIERO, PAULO RICARDO ALVES SANTOS,
FRANCISCO RONALDO BELEM FERNANDES, RAFAELA PAULA MELO

Universidade Federal do Ceará (UFC)
<erialdofeitosa5@gmail.com>, <daniel.albiero@gmail.com>, <paulo_ptg@hotmail.com>,
<ronaldoagroufc@gmail.com>,<rafinha2708@gmail.com>
DOI: 10.21439/conexoes.v11i1.1069

Resumo. A utilização da energia eólica vem crescendo muito nos últimos anos, cuja sua exploração resulta em pequenos impactos ambientais. A disponibilidade de energia elétrica em quantidades suficientes e a preços competitivos é um fator preponderante para o desenvolvimento econômico. Porém, há a necessidade de estudar novos equipamentos que possibilitem o fornecimento de energia com maior eficiência, sendo de extrema importância social e econômica. Portanto, o aproveitamento da energia eólica é de vital importância para o processo de produção da agricultura, pois pode suprir as necessidades das propriedades de pequeno a médio porte, podendo dar maior suporte no desenvolvimento da agricultura familiar no estado do Ceará. Diante desse contexto, objetivou-se quantificar a geração de energia elétrica proveniente de um aerogerador nas condições de velocidade do vento de Fortaleza-CE. Utilizou-se um aerogerador de 1 kW de potência, modelo H3.1-1KW, marca Hummer, onde o mesmo foi instalado na Universidade Federal do Ceará, e efetuado coleta de dados da geração de energia e velocidade do vento. Como resultado uma geração de energia elétrica em média 500 Wh, com uma velocidade do vento de 5,5 ms⁻¹.

Palavras-chaves: Energia eólica. Produção. Potencial.

Abstract. The use of wind energy comes growing very in recent years, which their exploitation results in small environmental impacts. The availability of electric energy in sufficient quantities and at competitive prices is a major factor for economic development. However, there is a need to study new equipment which enables energy supply more efficiently and is extreme social and economic importance. Therefore, the harnessing of wind energy is vitally important for the agricultural production process, it can supply the needs of small to medium size properties and can provide greater support in the development of family agriculture in the state of Ceará. In this context, the objective was quantify the generation of electric energy from a wind turbine in the wind speed conditions of the Fortaleza - CE. We used a wind turbine of 1 kW of power, H3.1-1KW model, Hummer brand, where it was installed at the Federal University of Ceará, and affected collects of power generation data, and wind speed. As a result an electric energy generation on average 500 Wh, with a wind speed of 5.5 ms⁻¹.

Keywords: Wind Energy. Production. Potential.

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um insumo importante para o desenvolvimento das civilizações modernas, estando presente em quase todas as atividades dos processos produtivos (MEDEIROS et al., 2003). Nesse sentido as lideranças políticas estão traçando novas estratégias de fornecimento de energia elétrica a curto e a longo prazos, devido à preocupação com o aumento do consumo

de eletricidade nos últimos anos.

A disponibilidade de energia elétrica em quantidades suficientes e a preços acessíveis é condição necessária para o desenvolvimento social e econômico de um país. Atualmente, ganharam forças discussões sobre formas de produção de energia elétrica capazes de suprir as exigências para o desenvolvimento socioeconômico, preservando-se o meio-ambiente. Nessas condições, a obtenção de energia com uso de fontes alterna-

tivas ganhou espaço, cabendo à cogeração uma contribuição importante (FODRA; ESPERANCINI, 2013).

Com relação às políticas de incentivo ao setor, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) por meio da lei 482 de abril de 2012, no qual é dirigido diretamente para geração distribuída, instituiu o que mundial é conhecido por net metering, que tem por finalidade regular a troca de energia entre usuários produtores de energia e concessionárias, em que créditos são acumulados com as concessionárias quando há excedentes de energia do sistema de geração do produtor, nesse caso a quantidade gerada supera o consumo. E débitos são acumulados quando ocorre o inverso, bem como o consumo do produtor supera a geração do seu sistema. Em que no final há um balanço realizado pelas concessionárias no momento do faturamento das contas de energia, no qual créditos acumulados compensam os débitos.

No entanto, no cenário atual a principal fonte energética mundial advém de combustíveis fósseis, o que contribui para uma elevada dependência energética. No qual, atualmente vê-se o forte desenvolvimento gradual de países motivados por maiores anseios por independência energética, investindo em alternativas que tendem a minimizar a geração dos gases de efeito estufa (GEE), impulsionando o estudo e desenvolvimento de energias renováveis (RANUCCI et al., 2013).

Nas últimas décadas a segurança no suprimento de energia está associada às perspectivas de esgotamento das reservas de petróleo nas próximas décadas, (BENTLEY, 2002), conjuntamente com a elevação dos preços de mercado dos combustíveis fósseis em consequência de problemas ambientais e políticos nas principais regiões produtoras (GELLER, 2003).

Desta forma, a energia eólica é uma alternativa para a geração de energia elétrica, pois é considerada uma abundante fonte de energia renovável, limpa e disponível em vários lugares, que pode ser obtida pela energia cinética contida nas massas de ar em movimento (NIPO, 2007).

Neste contexto o sistema de geração de energia elétrica por meio da energia dos ventos é fundamental para a região do Nordeste, pois apresenta elevado potencial do ponto de vista do aproveitamento dessa energia para promover um desenvolvimento sustentável, voltado ao atendimento da necessidade energética, além da sustentabilidade do crescimento econômico e social, aliado a manutenção dos sistemas naturais água, solo, biodiversidade (SOBRAL; FACCIOLO, 2009).

Tomando-se por base o emprego de turbinas eólicas de pequeno porte para geração de energia, desenvolveu-se esse trabalho com o objetivo de quantificar a geração de energia elétrica proveniente de um aerogerador nas

condições de velocidade do vento para local em estudo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências do Centro de Ciências Agrárias da UFC, especificamente no contraforte do açude Santo Anastácio, situada na Universidade Federal do Ceará em Fortaleza-CE, Brasil. O mesmo localiza-se a jusante do açude nas coordenadas em UTM 548.117,965E, e 9.587.336,787N, datum SIR-GAS 2000, zona 24 S, a 11 m de altitude. Em que foram instalados o sistema de geração de energia (aerogerador), e os aparelhos para coleta de dados.

O aerogerador utilizado no experimento para geração de energia elétrica possui a tecnologia dos geradores supercríticos (SCF), com imã permanente da marca HUMMER, modelo H3.1-1KW de 1 kW de potência. As especificações técnicas do aerogerador com as características mecânicas e elétricas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características mecânicas e eletromagnéticas do aerogerador utilizado no experimento

Características mecânicas da turbina	
Diâmetro da lâmina	3.1 m
Quantidade de lâminas	3
Velocidade do vento de partida	3.0 ms ⁻¹
Velocidade nominal do vento	9.0 ms ⁻¹
Velocidade funcional do vento	3 - 25 ms ⁻¹
Altura da torre	8 m
Características eletromagnéticas do gerador	
Potência nominal	1000 W
Potência máxima	2000 W
Tipo de gerador	Alternador magnético permanente
Eficiência do gerador	>0.8
Frequência de saída do sistema	0 - 400 Hz
Corrente elétrica nominal	15 A
Tensão elétrica	DC 60 V
Método de regulagem da velocidade	Guinada + frenagem por eletricidade
Método de desligamento	Manual

Fonte: Hummer (2015).

A tecnologia do gerador supercrítico (SCF) tira vantagens da estrutura e materiais especiais para fazer o gerador operar sempre em estado crítico, ou seja, no seu maior ponto de rendimento da sua curva de potência, melhorando a sua eficiência de conversão de modo significativo (HUMMER, 2015).

Segundo o fabricante Hummer, os geradores com a tecnologia SCF diferem dos tradicionais pelo menor tamanho e mais leve em peso de 1/3 a 1/5 do tradicional, maior eficiência de geração de 10% a 30% do que os convencionais, estrutura diferenciada do gerador SCF, sendo este localizado no cone do nariz, o qual facilita a irradiação do calor e redução da resistência do vento, como também adequado para operar em todas as condições meteorológicas.

Para a medição da velocidade do vento foi utilizado um anemômetro de conchas modelo NRG #40C da marca NRG system (Figura 1). O mesmo foi instalado em uma torre trelissada a 8 m de altura numa haste fixada na extremidade superior da torre, encontrando-se afastado da torre do aerogerador a uma distância de 75 m, esse realizava leituras a cada um segundo e registrava a média a cada 10 minutos totalizando 144 registros por dia.



Figura 1: Anemômetro de conchas utilizado para medição da velocidade do vento

Foi usado um banco de baterias composto por 5 baterias de 12 V e 150 Ah tipo estacionária, (Figura 2) por recomendação do fabricante do aerogerador, uma vez que o inversor que compõe o sistema elétrico realizava o acionamento do motor elétrico mediante o uso de baterias.

As baterias possuem tensão nominal de 12 V em corrente continua cada uma, e eram ligadas em série entre elas e em paralelo com o inversor para que a tensão de saída destas seja compatível com a tensão nominal de 60 V em corrente continua, sendo convertida pelo inversor para 220 V em corrente alternada para alimentação da carga.

O inversor utilizado modelo HX1110182764 da marca Hummer com capacidade nominal de 1000 W, o



Figura 2: Banco de baterias do sistema eólico-elétrico

mesmo executa a conversão de corrente alternada (AC) para corrente contínua (DC), quando estava carregando as baterias, porém quando estava alimentando a carga convertia de DC para AC, sendo conectado em paralelo com o banco de baterias e tem por finalidade direcionar a energia gerada pelo aerogerador para a carga em frequências compatíveis com o sistema a ser alimentado. As Figuras 3A e 3B mostram o inversor de frequência usado e a tensão de saída do mesmo.



Figura 3: Inversor de freqüência utilizado no trabalho (A) e a tensão de saída (B)

Com relação ao sistema de armazenamento dos dados foi utilizado o datalogger modelo CR10X do fabricante CAMPBELL, o mesmo foi conectado ao anemômetro de conchas usado para medição da velocidade do vento, Figura 4.

Para mensuração das grandezas elétricas como corrente e tensão, geradas a partir do aerogerador foi utilizado um alicate amperímetro digital modelo ET – 3III da marca Minipa com resolução de 0,01 A, (Figura 5). Era realizada a medição a cada 10 minutos de forma manual, em que na verificação da corrente colocava o alicate em um dos fios de transmissão do aerogerador, e o valor era mostrado no visor do amperímetro. E para medição da tensão elétrica era realizado através dos cabos de prova do alicate, onde colocava os mesmos no ponto de interligação dos dois fios do aerogerador com o inversor.

No que se refere à estatística, primeiramente foi rea-

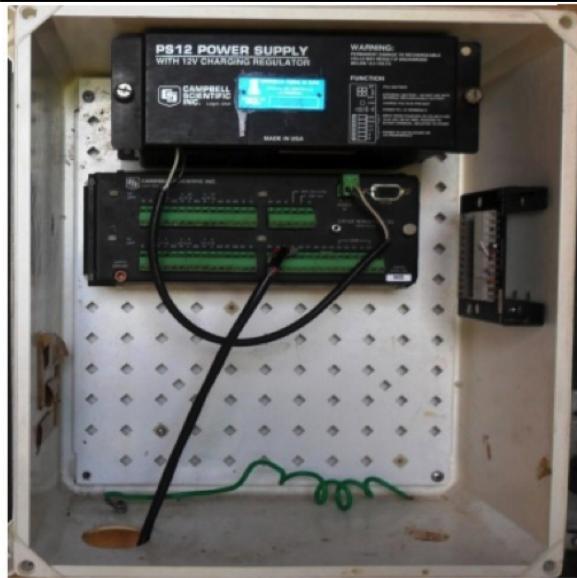


Figura 4: Datalogger utilizado para armazenamento dos dados no experimento

lizado a análise descritiva, às médias que apresentaram normalidade foram comparadas pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) a 5% de significância. Os dados foram analisados através do Software Minitab - Versão 16. Também foi utilizado o programa Excel para elaboração de gráficos e análise regressão das correlações da potência gerada pela turbina eólica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 observa-se a estatística descritiva dos dados da velocidade do vento, em que a média encontrada foi de $5,14 \text{ ms}^{-1}$, um desvio padrão de $1,48 \text{ ms}^{-1}$ e coeficiente de variação de 28,75% sendo parâmetros estatísticos importantes para análise da velocidade do vento, podendo caracterizar uma boa precisão dos dados obtidos em campo.

Tabela 2: Estatística descritiva da velocidade do vento

	Velocidade do vento
Número de Amostras	250
Média (ms^{-1})	5,14
Desvio Padrão (ms^{-1})	1,48
Variância	2,27
Coeficiente de Variação (%)	28,75
Máximo	8,76
Mínimo	1,88
Simetria	0,21
Curtose	-0,23

Com relação à normalidade dos dados de acordo



Figura 5: Alicate amperímetro digital utilizado para medição da corrente elétrica e tensão elétrica do aerogerador

Oliveira (2010), se os coeficientes de simetria e curtose apresentarem valores dentro de um intervalo de -3 a 3, considera-se que ocorreu normalidade nos dados analisados.

Sobral e Faccioli (2009) em seu trabalho com relação à avaliação do potencial eólico para geração de energia na zona rural do estado de Sergipe, mais precisamente no município de Gararu, especificamente dados de vento no mês de maio, em que está correlacionado com o mês que foi realizado esse estudo, obteve valores muito semelhantes aos valores observados nessa pesquisa, uma velocidade média do vento de $4,96 \text{ ms}^{-1}$, com um desvio padrão de $1,42 \text{ ms}^{-1}$, e coeficiente de variação de 28,75%.

Os dados medidos da velocidade do vento estão apresentados por meio do gráfico na Figura 6, no qual compreende o período de 25 de abril a 03 de junho de 2014. Essa velocidade média do vento corresponde o momento em que o sistema de geração de energia estava em operação, ou seja, alimentando um conjunto moto-bomba. Então pode-se verificar que a faixa de operação registrada compreende um intervalo de velocidade do vento de 4 a 7 ms^{-1} .

Vale ressaltar que esse período de avaliação comprendendo os meses de abril e maio, que são os meses do ano de menor potencial eólico, uma vez que na quadra chuvosa verificam-se menores valores de velocidade do vento. No entanto, foi interessante a observação nesse período, em função da necessidade de determinar o desempenho do sistema eólico em baixas condições de vento, pois é importante o conhecimento do funcionamento dos modelos de aerogeradores atuais do mercado em função da característica de baixo vento, visto que é necessário mais pesquisas no sentido de desenvolver

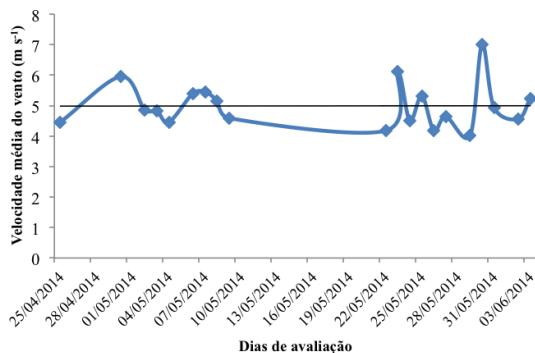


Figura 6: Velocidade média diária do vento durante os dias de avaliação

novos perfis aerodinâmicos que apresentem melhor performance nessas condições.

Na Tabela 3, encontram-se os dados de potência da turbina eólica, determinados em função da tensão e corrente gerados pelo aerogerador, onde a potência média verificada foi de 146,10 W, desvio padrão de 139,34 W, e coeficiente de variação de 92,91%, são valores altos que indicam uma dispersão em relação à média, porém normais, verificados por meio dos coeficientes de normalidade simetria e curtose, em que apresentaram os seguintes valores 1,17 e 0,96, respectivamente.

De acordo com as recomendações de Oliveira (2010), considera que se os coeficientes apresentarem-se dentro do intervalo de -3 e 3, pode-se realizar a análise de variância, já que ocorreu uma distribuição normal dos dados avaliados.

Tabela 3: Estatística descritiva básica dos valores de potência

	Potência
Número de Amostras	250
Média (Watts)	146,10
Desvio Padrão (Watts)	139,34
Variância	21857,64
Coeficiente de Variação (%)	92,91
Máximo	552,68
Mínimo	0,0
Simetria	1,17
Curtose	0,96

O coeficiente de variação elevado é atribuído à variável potência, devido essa ser determinada por meio de um fator de grande variabilidade, a velocidade do vento, visto que a mesma apresentar alta variação tanto em grande escala, como em pequena escala, e ainda por considerar a velocidade do vento ao cubo, pois a variação de 1 ms^{-1} no vento corresponde a uma variação

cúbica na potência.

Segundo Lopes (2011), a potência disponível no vento é proporcional ao cubo da sua velocidade, assim pequenas variações de sua velocidade representam grandes variações na potência disponível.

Burton et al. (2001) acrescentam ainda que uma pequena variação na velocidade do vento causa uma grande variação na potência de saída de uma turbina eólica, pois de acordo com a equação de potência é possível observar que a energia disponível possui uma relação cúbica com a velocidade do vento, de forma que o dobro de velocidade representa um aumento de oito vezes em energia.

Na Figura 7 observam-se as curvas de potência, tensão e corrente elétrica, todas em função da velocidade do vento. Verifica-se um aumento significativo da potência com acréscimo da velocidade, já que a potência tem um aumento cúbico com a velocidade, e também possui uma relação proporcional à área do rotor.

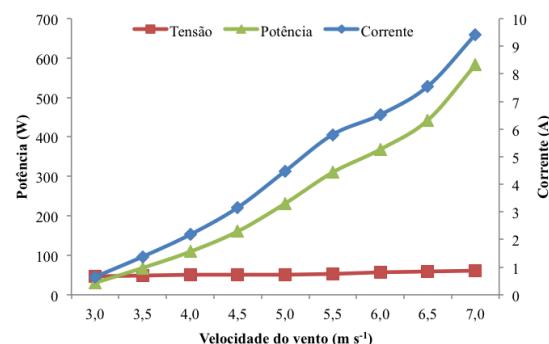


Figura 7: Curvas de potência, tensão e corrente em função da velocidade do vento

Observa-se ainda que a curva de tensão elétrica mantém-se praticamente constante, ao contrário da corrente elétrica que apresenta uma variação significativa com o aumento da velocidade do vento. Segundo Acunha Júnior (2006) no seu estudo sobre desempenho de aerogerador de pequeno porte percebeu-se que a tensão gerada não tinha dependência direta com a velocidade do vento, pois permanecia praticamente estável durante a operação, com a maior diferença entre os valores máximo e mínimo sendo menor que 1,0 V, dependendo apenas do estado de carga das baterias. Já com relação à corrente observou-se, no entanto, dependência direta com a velocidade do vento, ou seja, quanto maior a velocidade do vento maior era a corrente elétrica.

Rehman et al. (2007) avaliou os dados de vento e analise da produção de energia utilizando três turbinas com diferentes escala de potência em Rafha, como re-

sultado verificou-se que a velocidade média anual do vento e a frequência de distribuição são fatores importantes no papel da produção de energia.

Na Tabela 4 verifica-se a quantidade de energia elétrica gerada pelo aerogerador em função da velocidade média do vento, com o respectivo tempo de operação do sistema eólico.

Tabela 4: Energia elétrica gerada em função do aerogerador

Data	Vm (ms ⁻¹)	T. de Operação (Min)	Energia (Wh)
25/04/2014	4,46	150	445,34
30/04/2014	5,95	260	609,97
02/05/2014	4,86	80	447,49
03/05/2014	4,83	90	448,33
04/05/2014	4,46	140	445,39
06/05/2014	5,40	100	546,70
07/05/2014	5,45	50	573,42
08/05/2014	5,16	250	486,25
09/05/2014	5,49	110	580,55
22/05/2014	4,18	50	389,15
23/05/2014	6,12	270	773,18
24/05/2014	4,51	160	400,87
25/05/2014	5,32	20	521,28
26/05/2014	4,18	60	389,89
27/05/2014	4,64	180	453,33
29/05/2014	4,02	60	365,66
30/05/2014	7,00	220	873,16
31/05/2014	4,94	70	477,24
02/06/2014	4,50	20	398,34
03/06/2014	5,22	160	490,61

Pode-se observar que não houve velocidade do vento que proporciona-se o aerogerador operar em sua condição nominal, ou seja, na velocidade nominal de funcionamento a 9 ms⁻¹, o qual corresponderia a uma geração de energia elétrica de 1000 Wh. Nesse sentido à velocidade máximo que o mesmo operou foi 7 ms⁻¹, o qual gerou aproximadamente 874 Wh de energia, e o menor valor de geração 389,15 Wh na velocidade do vento de 4,18 ms⁻¹.

De acordo com Ramos e Seidler (2011) no seu trabalho com energia eólica para aproveitamento em pequenos empreendimentos no estado do Rio Grande do Sul, para suprir as necessidades de pequenas propriedades com um baixo custo de manutenção e de uma forma ecologicamente sustentável. Concluíram que a velocidade média do vento de 2,5 ms⁻¹, já permite a utilização de geradores de pequeno porte, suprindo a necessidade de energia em regiões remotas ou até mesmo auxiliando nos custos dos gastos com energia no processo produtivo.

Para Celik (2003) os aerogeradores de pequeno

porte produzem energia elétrica de forma mais onerosa em comparação com os aerogeradores de médio porte, principalmente em condições de baixo vento, e em instalação de modo autônomo, o qual necessita de um alto nível de confiabilidade. Porém, quando bem dimensionado e utilizado de forma otimizado, as turbinas de pequeno porte poderia ser uma fonte energética viável e produzir valores energéticos socioeconômicos, não apenas no desenvolvimento de um país, mas também em aplicações autônomas em locais distantes da rede elétrica de maneira que as turbinas de pequena escala pode-se tornar cada vez mais necessária para o fornecimento de energia elétrica em áreas rurais.

4 CONCLUSÕES

O aerogerador mostrou-se uma boa alternativa na geração de energia elétrica para o Estado do Ceará, pois possibilitará a produção de energia elétrica de forma complementar ao sistema de geração convencional, ou até mesmo em locais distantes da rede elétrica, uma alternativa de geração de energia elétrica.

O sistema de geração de energia elétrica por meio do aerogerador apresentou a maior produção de energia 873,16 Wh com a velocidade do vento de 7,00 ms⁻¹, e a menor geração 389,15 Wh na velocidade do vento de 4,18 ms⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ACUNHA JÚNIOR, I. C. *Análise do desempenho de um aerogerador de pequeno porte*. 100 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande, Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Rio Grande, 2006.
- BENTLEY, R. W. Energ. policy. v. 30, p. 189, 2002.
- BURTON, T.; SHARPE, D.; JEINKINS, N.; BOSSANYI, E. *Wind Energy Handbook*. : John Wiley & Sons, 2001.
- CELIK, A. N. Energy output estimation for small-scale wind power generators using weibull-representative wind data. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 91, p. 693–707, 2003.
- FODRA, M.; ESPERANCINI, M. S. T. Viabilidade econômica da venda de energia elétrica em cogeração sob condições de risco: um estudo de caso. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 28, n. 4, p. 229–239, out-dez 2013.
- GELLER, H. S. *Revolução Energética: Políticas para um Futuro Sustentável*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2003.

HUMMER. ANHUI HUMMER DYNAMO Co.
Ltda. *Catálogo Hummer*. 2015. Disponível em:
<www.brasilwindservice.com>. Acesso em: 10 Jan.
2015.

LOPES, L. C. N. *Avaliação de sistema eólico-elétrico de bombeamento de água*. 171 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2011.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; MENTOVANI E. C. SOUZA, J. A. A. Avaliação da eficiência do uso da energia elétrica no perímetro irrigado de pirapora mg. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, p. 394–398, 2003.

NIPO, D. F. *Controlador de carregamento de baterias para turbinas eólicas de pequeno porte*. 123 p. — Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica, Recife, 2007.

OLIVEIRA, J. U. C. *Estatística: uma nova abordagem*. Rio de Janeiro: Ciência, 2010.

RAMOS, F. G.; SEIDLER, N. Estudo da energia eólica para aproveitamento em pequenos empreendimentos. vivências. *Revista Eletrônica de Extensão da URI*, v. 7, n. 13, p. 108–127, Out 2011.

RANUCCI, C. R.; MIYASHIRO, C. S.; WAKASSUGUI, E. S.; SANTOS, K. G.; AARAÚJO, C. H. C. Dimensionamento de sistemas eólicos no entorno geográfico do município de marechal cândido rondon. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 3, p. 25–36, 2013.

REHMAN, S.; EL-AMIN, I. M.; AHMAD, F.; SHAHID, S. M.; AL-SHEHRI, A. M.; SHATA, A. S. A.; HANITSCH, R. Evaluation of wind energy potential and electricity generation on the coast of mediterranean sea in egypt. *Renewable Energy*, v. 32, p. 1183–1202, 2007.

SOBRAL, F. S. B.; FACCIOLO, G. G. Avaliação do potencial eólico para geração de energia em nossa senhora da glória-se. *Revista Scientia Plena*, v. 5, n. 6, 2009.