

FORNECIMENTO DE ÁGUA COM SISTEMA DE BOMBEAMENTO EÓLICO DE PEQUENO PORTE

Erialdo de Oliveira Feitosa¹, Daniel Albiero², Aline Castro Praciano³, Úrsula Barroso Prado⁴,
Leonardo de Almeida Monteiro⁵

¹Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Doutorando em Engenharia Agrícola na Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza-CE, Fone: (85) 9808-7365 e-mail: erialdofeitosa5@gmail.com.br;

²Engenheiro Agrícola, Prof. Dr. Adjunto, UFC, Fortaleza - CE; Fone: (85) 9239-8250, e-mail: daniel.albiero@gmail.com;

³Engenheira Agrônoma, Mestrando em Engenharia Agrícola na UFC, Fortaleza – CE, e-mail: alinecastro.praciano@gmail.com;

⁴Discente de graduação em Agronomia, UFC, Fortaleza-CE, e-mail: ursula_barroso@hotmail.com;

⁵Bacharel em Ciências Agrícolas, Prof. Dr. Adjunto, UFC, Fortaleza – CE, e-mail: aiveca@ufc.br.

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015 - São Pedro - SP, Brasil

RESUMO: Atualmente o cenário energético brasileiro enfrentar dificuldades com relação ao fornecimento de energia especialmente no meio rural devido à distância, os sistemas transmissão, no qual limita o sistema de produção na agricultura por não ter acesso à energia, e conseqüentemente a água. No entanto a energia eólica vem - se tornando uma fonte de energia necessária principalmente para fornecer energia em locais isolados, e acionar sistemas de bombeamento para captação de água. Além disso, o Brasil passa por uma das piores crises hídricas de sua historia. Diante do exposto, objetivou-se analisar o volume de água bombeado utilizando um aerogerador para acionar o sistema de bombeamento. O sistema foi instalado na Universidade Federal do Ceará, onde utilizou-se um aerogerador de 1 kW de potência, modelo H3.1-1KW, marca Hummer, e um sistema hidráulico de bombeamento. Como resultado verificou-se a capacidade de bombeamento de água em função do vento em torno de 3750,5 L dia⁻¹, com uma velocidade do vento em média 4,99 m s⁻¹, e tempo de operação de 125 minutos. Nesse sentido a quantidade de água bombeada pode ser usada para o processo de produção na agricultura.

PALAVRAS - CHAVES: Energia renovável, aerogerador, agricultura.

WATER SUPPLY WITH PUMPING WIND SYSTEM OF THE SMALL PORTE

ABSTRACT: At present the scenario energetic Brazilian face difficulties with relation to energy supply especially in rural areas, due to distances, transmission systems, which limits the production system in agriculture for not have, access the energy, and consequently the water. However, the wind energy comes if becoming an energy source necessary primarily for provide energy in isolated locations, and operate pumping systems for water uptake. Besides the Brazil spend for one of the worst crises hydrics of the your history. Ahead of the exposed, aimed if analyze the volume of the water pumped using an aerogenerator to operate the pumping system. The system was installed in University Federal Ceará, which used a wind turbine 1 kW, H3.1-1KW model, Hummer mark, and a hydraulic pumping system. As result

verified if the pumping capacity water in function of the wind around $3750.5 \text{ L day}^{-1}$, with average wind speed 4.99 m s^{-1} , and 125 minutes operating time. In end the quantity of the water supplied can be used to the agriculture production process.

KEY - WORDS: Renewable energy, aerogenerator, agriculture.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de energia elétrica e o fornecimento de água potável para as populações situadas em locais distantes da rede elétrica dividem os governantes e pesquisadores com as preocupações voltadas para a permanência das populações no meio rural, e o desenvolvimento sustentável possibilitando a sobrevivência das gerações futuras (BRUNI e CAMELIER, 2006).

O vento é um recurso natural e abundante no estado do Ceará, em que o potencial de geração de energia elétrica poderá ser aproveitado gradualmente, nos limites técnicos de inserção da capacidade eólica no sistema elétrico regional, alavancando o crescimento econômico e a auto-sustentabilidade energética do Estado. No qual o aproveitamento do mesmo em algumas áreas com potencial proporcionaria um reforço à rede elétrica no sistema elétrico estadual (SILVA e AMARANTE, 2000).

Um dos grandes entraves da agricultura familiar nas regiões semiáridas do Nordeste Brasileiro é a dificuldade de se produzir alimentos com o uso de dispositivos satisfatórios a obtenção dos recursos hídrico e energético, em que possa atender às necessidades básicas atuais e futuras sem contribuir para a exaustão dos recursos naturais (FEITOSA, 2014).

No meio rural existir a necessidade, dentre outras coisas, de meios tecnológicos e energéticos para o seu desenvolvimento. E, nesse âmbito, as tecnologias para o aproveitamento das energias renováveis (eólica, fotovoltaica) têm alcançado bons níveis de maturidade e confiabilidade, tornando-se opções viáveis para a solução desse problema (FEDRIZZI, 1997).

Nesse sentido, o aproveitamento da energia eólica pode ser uma importante ferramenta para o acionamento de sistemas de bombeamento de água para as populações no meio rural, no qual possa ser útil no processo de produção da agricultura, pois poderá suprir as necessidades de populações de pequeno porte, pequenas e médias propriedades, deixando a demanda maior de energia em função das fontes convencionais. Assim, a fonte de energia eólica poderá dar maior suporte no desenvolvimento da agricultura familiar no Estado do Ceará.

Tomando-se por base o emprego da energia eólica na geração de energia elétrica, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo analisar um sistema de geração de energia elétrica renovável para o acionamento de um sistema de bombeamento de água.

MATERIAL E MÉTODOS

A instalação do sistema de geração de energia elétrica (aerogerador), e o sistema de bombeamento de água, junto com os aparelhos para coleta de dados, foram instalados na Universidade Federal do Ceará em Fortaleza - CE, Brasil, situado especificamente nas dependências do Centro de Ciências Agrárias da UFC. Cujas coordenadas geográficas são $3^{\circ}44'$ de latitude Sul e $38^{\circ}34'$ de longitude Oeste, e 11 m de altitude.

O aerogerador usado no experimento foi o modelo H3.1-1KW da marca HUMMER, de 1 kW de potência, onde pode-se observar na Tabela 1 algumas características técnicas e na Figura 1 uma imagem do mesmo.

Tabela 1. Características elétricas e mecânicas do aerogerador utilizado no experimento

Especificações técnicas do aerogerador	
Número de pás	3
Diâmetro das pás	3.1 m
Velocidade inicial do vento	3.0 m s ⁻¹
Velocidade nominal do vento	9.0 m s ⁻¹
Velocidade funcional do vento	3 – 25 m s ⁻¹
Altura da torre	8 m
Potência nominal	1000 W
Potência máxima	2000 W
Tensão de saída do sistema	220 V Corrente alternada

Fonte: HUMMER, 2014.



Figura 1. Aerogerador utilizado no experimento.

Fonte: Feitosa, 2014.

O sistema de bombeamento de água era composto por um conjunto motobomba do tipo centrífuga modelo QB60 de 0,5 cv de potência da marca INAPI, e um reservatório elevado com capacidade de 500 L. onde o mesmo ficou instalado sobre uma laje montada acima de um cubículo com altura de 4,5 m. Junto ao reservatório estão interligados tubos de entrada e saída de água respectivamente sucção e recalque como mostrado na Figura 2.

O sistema funcionou em um circuito fechado com a finalidade de conhecer o volume de água bombeado pelo sistema que poderá ser aproveitado para a irrigação. No entanto, a

energia elétrica gerada pelo sistema eólico era armazenada no reservatório elevado na forma de energia hidráulica potencial.



Figura 2. Reservatório elevado da unidade de bombeamento
Fonte: Feitosa, 2014.

Na Figura 3 são mostrados os outros componentes que compõem o sistema hidráulico, como as tubulações para o processo (sucção e recalque) com diâmetros de 1", um hidrômetro para medir a vazão de recalque da marca FAE Tecnologia, modelo A13F261178 com capacidade de vazão nominal de $1,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, um manômetro para realizar a medição da pressão do sistema, da marca INAPI, capacidade de medição máxima de 40 mca, e uma válvula de retenção para a proteção do conjunto motobomba.



Figura 3. Componentes do sistema hidráulico de bombeamento
Fonte: Feitosa, 2014.

Para o sistema eólico acionar o conjunto motobomba de modo satisfatório era necessário um inversor de frequência junto com um banco de baterias para garantir que a energia entregue estava em uma frequência desejável pelo conjunto motobomba, para tanto foi utilizado um inversor modelo HX1110182764 da marca Hummer com capacidade nominal de 1000 W, Figura 4A, e um banco de baterias composto de 5 baterias de 12V e 150Ah, Figura 4B. O inversor executava a retificação de corrente alternada (AC) para corrente contínua (DC), quando está carregando as baterias, porém quando está alimentando a carga convertia de DC para AC.

As cinco possuíam tensão nominal de 12 V em DC 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 acionamento do motor elétrico 60 V DC, em que era convertida pelo inversor para 220 V em AC. Estas baterias foram utilizadas com a finalidade de armazenar energia suficiente para o acionamento do motor elétrico, por intermédio do inversor de frequência, e também, para entregar ao motor elétrico uma energia com tensão constante dentro de sua faixa operacional e servir como um sistema de estabilização das variações ocorridas durante o processo de geração.

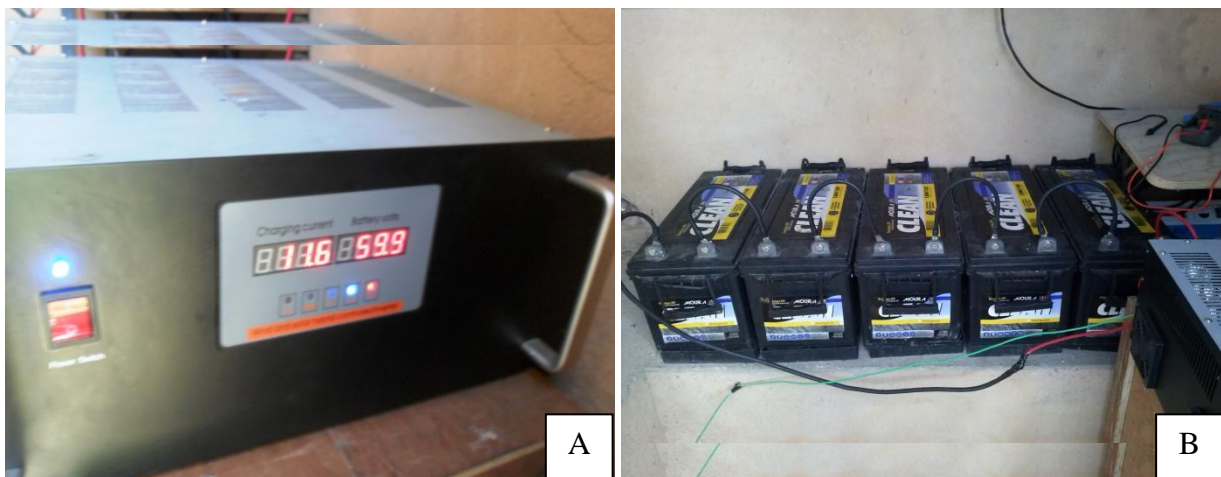


Figura 4. Inversor de frequência (A) e banco de baterias do sistema eólico-elétrico (B)
Fonte: Feitosa, 2014.

Com relação a medição da velocidade do vento foi usado um anemômetro de conchas modelo NRG #40C da marca NRG system, Figura 5, em que o mesmo estava instalado em uma torre treliçada 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. sendo que para o armazenamento dos dados de vento foi usado um datalogger modelo CR10X do fabricante CAMPBELL. E para registrar grandezas como corrente e voltagem geradas a partir da turbina eólica foi utilizado um alicate amperímetro digital modelo ET – 3III da marca Minipa com resolução de 0,01 A.



Figura 5. Anemômetro de conchas utilizado para medição da velocidade do vento
 Fonte: Feitosa, 2014.

Para as variáveis medidas no experimento, foi realizada a análise descritiva para analisar os seguintes parâmetros estatísticos: média, desvio padrão, coeficiente de variância, simetria e curtose, sendo que através dos coeficientes de simetria e curtose foi determinada a normalidade dos dados, em que esses foram analisados através do Software Minitab – Versão 16. Também foi utilizado o programa Excel para elaboração de gráficos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 é apresentada a análise descritiva dos dados obtidos com relação à velocidade do vento, em que a média encontrada foi de $5,14 \text{ m s}^{-1}$, ressaltando que os mesmos são apenas os valores de velocidade que no momento da medição o sistema de bombeamento estava em operação, pois, conhecendo esses valores que geravam energia suficiente para acionamento do motor elétrico, permite-nos determinar qual velocidade média do vento é necessária para operação do sistema hidráulico.

Tabela 2. Estatística descritiva para os dados de velocidade do vento

Velocidade do vento	
Número de amostras	250
Média (m s-1)	5,14
Desvio Padrão (m s-1)	1,48
Variância	2,27
Coeficiente de Variação (%)	28,75
Simetria	0,21
Curtose	0,23

Verificou - se um desvio padrão de $1,48 \text{ m s}^{-1}$ e coeficiente de variação de 28,75 % que são parâmetros estatísticos importantes para análise da velocidade do vento, podendo caracterizar uma boa precisão dos dados obtidos no experimento. No que se refere à normalidade dos dados de acordo Hines et al. (2006), se os coeficientes de simetria e curtose apresentarem valores dentro de um intervalo de - 2 a 2, considera-se que ocorreu normalidade nos dados analisados.

Sobral (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 o presente trabalho, obteve valores muito semelhantes aos valores observados nesse estudo, uma velocidade média do vento de $4,96 \text{ m s}^{-1}$, com um desvio padrão de $1,42 \text{ m s}^{-1}$, e coeficiente de variação de $28,75 \%$.

Os dados obtidos com relação à velocidade do vento estão apresentados por meio do gráfico na Figura 6, compreendendo o período entre 25 de abril de 2014 a 03 de junho de 2014. Essa velocidade média do vento, representada na Figura 6, corresponde o momento em que o sistema de bombeamento estava em operação. Então pode-se verificar que a faixa de operação registrada esta em um intervalo de velocidade de 4 a 7 m s^{-1} .

Portanto é imprescindível a avaliação da velocidade que permite acionar o motor, e analisar a ocorrência dessas velocidades ao longo do dia, visto que o vento é uma variável que depende de muitos fatores como altitude, temperatura, rugosidade do terreno e vários outros, e que os mesmos influenciam a sua variação durante o dia.

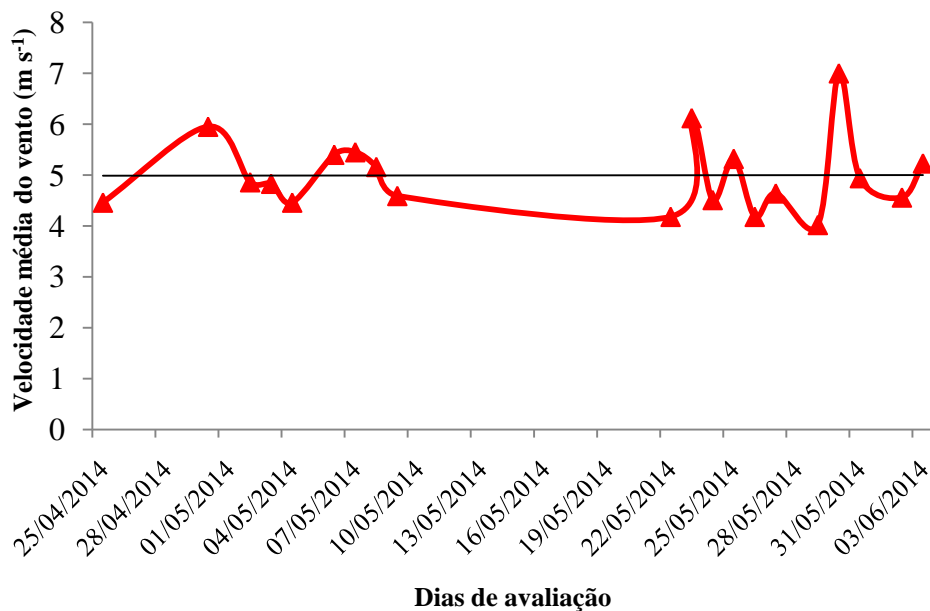


Figura 6. Velocidade média do vento de operação do sistema

Na Tabela 3 é mostrada a quantificação da energia elétrica gerada em função da velocidade média do vento para o período avaliado, sendo que esses valores correspondem o momento de operação do sistema de bombeamento, então pode – se observar que a maior geração de energia $873,16 \text{ W/h}$ foi verificada no dia $30/05/2014$ na velocidade média de $7,00 \text{ m s}^{-1}$, e a menor geração $365,66 \text{ W/h}$ no dia $29/05/2014$, com a velocidade de $4,02 \text{ m s}^{-1}$.

Tabela 3. Quantidade de energia elétrica gerada em função da velocidade do vento

Data	Vm (m s ⁻¹)	Energia (W/h)
25/04/2014	4,46	445,34
30/04/2014	5,95	609,97
02/05/2014	4,86	447,49
03/05/2014	4,83	448,33
04/05/2014	4,46	445,39
06/05/2014	5,40	546,70
07/05/2014	5,45	573,42
08/05/2014	5,16	486,25
09/05/2014	5,49	580,55
22/05/2014	4,18	389,15
23/05/2014	6,12	773,18
24/05/2014	4,51	400,87
25/05/2014	5,32	521,28
26/05/2014	4,18	389,89
27/05/2014	4,64	453,33
29/05/2014	4,02	365,66
30/05/2014	7,00	873,16
31/05/2014	4,94	477,24
02/06/2014	4,50	398,34
03/06/2014	5,22	490,61

Com relação à vazão do sistema, na Tabela 4 é apresentada a estatística descritiva para os dados obtidos no experimento, uma vazão média de 0,50 L s⁻¹, considerando dados do fabricante do conjunto motobomba em que menciona valores de vazão no intervalo de 0,50 a 0,58 L s⁻¹ com alturas manométricas de 6,5 mca e 3,0 mca respectivamente, sendo que no presente trabalho a AMT (Altura Manométrica Total) foi de 4,50 mca. Pode-se ainda observar um desvio padrão de 0,075 L s⁻¹ e um coeficiente de variação de 15,16 %, e também no que se refere aos parâmetros estatísticos de normalidade os coeficientes de simetria e curtose estão dentro do intervalo mencionado por Hines et al (2006).

Tabela 4. Análise descritiva dos dados de vazão do sistema de bombeamento

	Vazão do sistema
Número de Amostras	250
Média (L s ⁻¹)	0,50
Desvio Padrão (L s ⁻¹)	0,075
Variância	22,22
Coeficiente de Variação (%)	15,16
Simetria	-0,28
Curtose	0,50

Observou - se na vazão do sistema uma pequena variação, uma vez que determinado a AMT, considerando as perdas de carga do sistema, a bomba tem uma vazão específica teoricamente constante para esse fator dimensionado. Porém no presente estudo a AMT foi calculada de forma que se manteve um valor constante, e mesmo assim mostrou-se uma pequena variação da vazão, visualizada por meio do coeficiente de variação. Esse fenômeno possivelmente ocorreu devido à frequência aplicada ao motor, uma vez que a rotação do motor está diretamente relacionada com a frequência. Conforme Sousa Neto, (2003), o

rendimento do sistema de bombeamento está relacionado à potência absorvida pelo motor e à potência hidráulica cedida ao líquido.

Na Figura 7 observar-se o volume de água bombeado em função da velocidade média do vento, em que o maior volume 8050 L dia⁻¹, a uma velocidade média de 6,12 m s⁻¹, sendo o menor valor registrado 660 L dia⁻¹ na velocidade de 4,56 m s⁻¹.

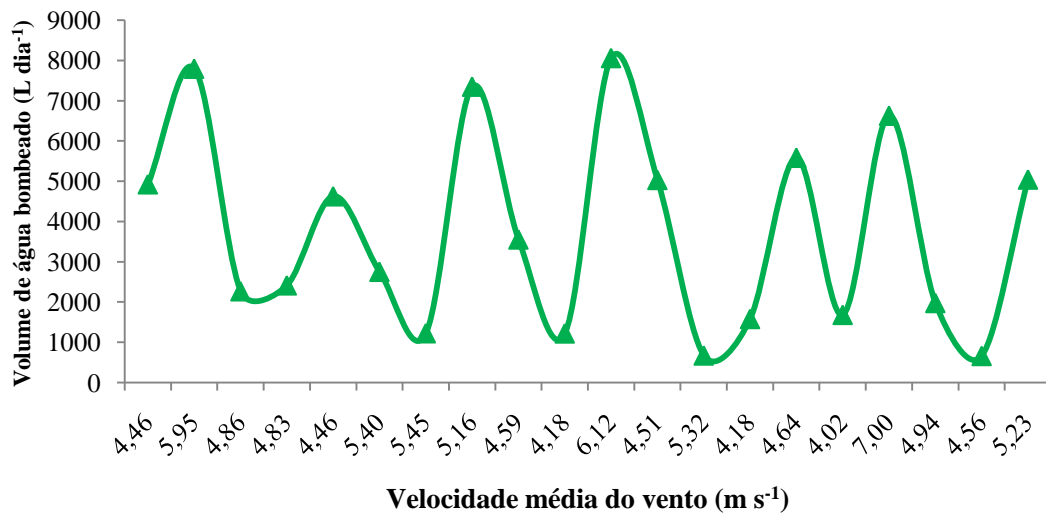


Figura 7. Volume de água bombeado em função da velocidade média do vento

Segundo Nascimento (2012) relata que os valores de vazão apresentam diferenças significativas quando comparados. Isto se deve ao fato de que nem toda a potência fornecida pelo aerogerador é entregue à bomba, pois o inversor de frequência trabalha em uma determinada faixa de tensões, e para determinados valores de potência a tensão necessária para que o inversor funcione não é suficiente.

Leão Filho (2007) em seu estudo com o uso de geradores eólicos de pequeno porte para irrigação de um plantio de goiaba no semiárido do estado de Sergipe no município de própria, através da curva de bombeamento da água, constatou-se que com uma velocidade de 6,39 m s⁻¹, o catavento dimensionado teve a capacidade de bombear até 42.000 L dia⁻¹, foram então 1750 L h⁻¹ de água bombeada.

CONCLUSÕES

A energia eólica mostrou-se como uma alternativa para o acionamento de sistemas de bombeamento de água, pois possibilitará o uso de energia renovável na agricultura.

A quantidade de água bombeada pode ser usada para o processo de produção na agricultura, ou seja, a irrigação de hortículas da agricultura familiar.

A interação das duas tecnologias, o sistema eólico de geração de energia e o bombeamento de água, podem possibilitar o aumento da produtividade das culturas irrigadas.

REFERÊNCIAS

BRUNI, C. A.; CAMELIER, L. A. A. **Sistema eólico de São Gabriel região de Irecê-Ba.** Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia. Companhia de Engenharia Rural da Bahia. Bahia, 2006.

FEITOSA, E. O. **Energia eólica aplicada ao bombeamento da água para irrigação por gravidade na agricultura familiar**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2014.

FEDRIZZI, M. C. **Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaico – dimensionamento simplificado e análise de competitividade para sistemas de pequeno porte**. 1997. 123 f Dissertação (Mestrado 1997) –Universidade de São Paulo, São Paulo.

HUMMER - ANHUI HUMMER DYNAMO Co. Ltda. **Catálogo Hummer**. Disponível em:<www.brasilwindservice.com>. Acesso em: 10 Fev. 2014.

LEÃO FILHO, A. D. **Uso de geradores eólicos de pequeno porte para irrigação no semiárido do estado de Sergipe**. 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2007.

NASCIMENTO, M. A. S. **Ferramenta computacional para análise do potencial de bombeamento de água utilizando aerogeradores de pequeno porte acoplados a motobombas por meio de inversores de frequência**. 2012. 106 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, 2012.

SOUSA NETO F. C. **ELETROBRÁS-PROCEL, “Programa de efficientização indústria módulo bombas”, Rio de Janeiro, 2003**.

SOBRAL, F. S. B. **Avaliação do potencial eólico para geração de energia na zona rural do Estado de Sergipe**. 2009. 168 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2009.

SILVA, F. J. L.; AMARANTE, O. A. C. **Atlas Eólico Brasileiro**, 2000.

HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M. **Probabilidade e estatística na engenharia**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.