

# REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

## DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DE SISTEMA EÓLICO AUTÔNOMO PARA IRRIGAÇÃO NO POLO DE INOVAÇÃO CAMPOS DOS GOYTACAZES/ RJ<sup>1</sup>

GABRIELE TEIXEIRA DA SILVA<sup>2</sup>, LUIZ FERNANDO ROSA MENDES<sup>3</sup>, RENATO  
GOMES SOBRAL BARCELLOS<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Aceito para Publicação no 2º Trimestre de 2017.

<sup>2</sup>Bacharel em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense.  
gabi.teixeira90@hotmail.com

<sup>3</sup>Mestre em Engenharia de Produção (UCAM-Campos). Pesquisador do Núcleo de Pesquisa em Gestão Ambiental (IFF). Professor de Eletricidade do Instituto Federal Fluminense campus Campos-Guarus e professor da pós-graduação lato sensu em Educação Ambiental do IFF campus Campos-Centro. lfmendes@iff.edu.br

<sup>4</sup>Doutor em Geociências (UFF). Professor do PPG em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão do IFF. Coordenador do Laboratório de Computação Física do IFF - Campus Quissamã. Pesquisador associado da Rede UFF de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da (UFF). Professor de Meio Ambiente do IFF campus Quissamã.  
rbarcellos@iff.edu.br

### **Resumo**

A geração de energia elétrica resultante de sistemas eólicos é uma alternativa potencial para a região do Norte Fluminense, podendo promover a sustentabilidade e o desenvolvimento socioeconômico da região. Os sistemas de irrigação demandam quantidades significativas de energia aumentando consideravelmente o custo da produção dos alimentos. Este trabalho tem por objetivo avaliar o rendimento energético de um sistema instalado no Polo de Inovação de Campos dos Goytacazes (PICG) a partir de um dispositivo eólico autônomo para irrigar uma olericultura nas dimensões de 167,4m<sup>2</sup>. O trabalho foi dividido nas seguintes etapas: montagem, monitoramento e cálculo de rendimento do sistema. Desta forma, o sistema eólico

apresentou-se possível para atender as necessidades de alimentação elétrica no perímetro irrigado, obtendo uma velocidade média no valor de 6,16 m/s, sendo capaz de fornecer o abastecimento de água para irrigação, obtendo um rendimento médio de 39% no período de monitoramento.

**Palavras-chave:** Energia renovável, sustentabilidade, agricultura familiar.

### **Abstract**

The generation of electric energy resulting from wind power systems is a potential alternative for the North Fluminense region, which can promote the region's sustainability and socioeconomic development. Irrigation systems require significant amounts of energy, greatly increasing the cost of producing food. The objective of this work is to evaluate the energy performance of a system installed in the Campos de Goytacazes Innovation Center (CGIP) from an autonomous wind device to irrigate a 167.8m<sup>2</sup>. The work was divided into the following steps: assembly, monitoring and calculation of system performance. In this way, the wind system was possible to meet the needs of electric power in the irrigated perimeter, obtaining an average velocity of 6.16 m/s, being able to supply the water supply for irrigation, obtaining an average yield of 39% in the monitoring period.

**Keywords:** Renewable energy, sustainability, family farming.

## **1. Introdução**

Atualmente, a questão energética tem sido um dos grandes desafios em todo o mundo. O obstáculo é alcançar a satisfação da crescente demanda de energia e proporcionar, ao mesmo tempo, o uso racional das fontes energéticas. A busca por novas formas de geração de eletricidade que produza baixa ou nenhuma emissão de gases poluentes, tem sido cada vez mais abordada nos mais diversos países (CAMELO *et al.*, 2015).

A produção e distribuição de energia são de suma importância nas questões que envolvem o desenvolvimento econômico. Como soluções para as atuais pressões sociais, políticas e institucionais, significativa parcela dos países emergentes passou a desenvolver ou adquirir tecnologias consideradas mais limpas do ponto de vista ambiental, tendo uma aproximação com a política de desenvolvimento sustentável (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012).

A crescente dependência da população mundial por recursos energéticos e questões como mudança climática, poluição e os impactos econômicos e ambientais decorrentes da utilização de combustíveis fósseis, estimulou ainda mais os investimentos em energias renováveis (JUNFENG *et al.*, 2006).

A energia eólica é uma das mais importantes fontes de energia renovável na atualidade (GOMES; HENKES, 2015). O crescimento e desenvolvimento da produção de energia eólica no mundo tem se elevado ao longo das últimas décadas como uma das principais e importantes alternativas de energias renováveis (ACKERMANN; SÖDER, 2002).

A agricultura familiar é um importante segmento da agricultura brasileira, ela produz parte dos gêneros alimentícios necessários para a segurança alimentar dos brasileiros (ALBIERO *et al.*, 2014).

O acesso à energia elétrica pelas atividades agrícolas tem um impacto na melhoria do rendimento agrícola, facilitando a irrigação (THIAM, 2011). Então, para o atendimento aos pequenos produtores da agricultura familiar a aplicação de sistemas eólicos autônomos torna-se uma alternativa para minimizar os custos de energia elétrica na área rural, principalmente com o bombeamento de água (FEITOSA *et al.*, 2014).

O sistema eólico isolado ou autônomo consiste num único sistema responsável pelo fornecimento de eletricidade para a carga. O mesmo não tem nenhum tipo de conexão à rede elétrica da concessionária de eletricidade, por isso o sistema eólico isolado torna-se interessante em locais remotos ou em que se torna inviável o fornecimento de eletricidade pela concessionária local (PINTO, 2013, BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

Os sistemas isolados, comumente, necessitam de armazenar a energia elétrica gerada pelo aerogerador. Esse armazenamento de energia é realizado por meio de baterias estacionárias, sendo este um dos gargalos do sistema. Estas baterias tem alto custo de aquisição, vida útil entre cinco a dez anos e requerem manutenção (ALDABÓ, 2002).

Além disso, o sistema necessita de um dispositivo denominado controlador de carga, tendo o mesmo o principal objetivo de não permitir que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. Há também a possibilidade de alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (CA) e para isso, é preciso conexão de um inversor para conversão da corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), onde comumente engloba um seguidor de máxima potência necessário para aperfeiçoar a potência produzida. (ALDABÓ, 2002).

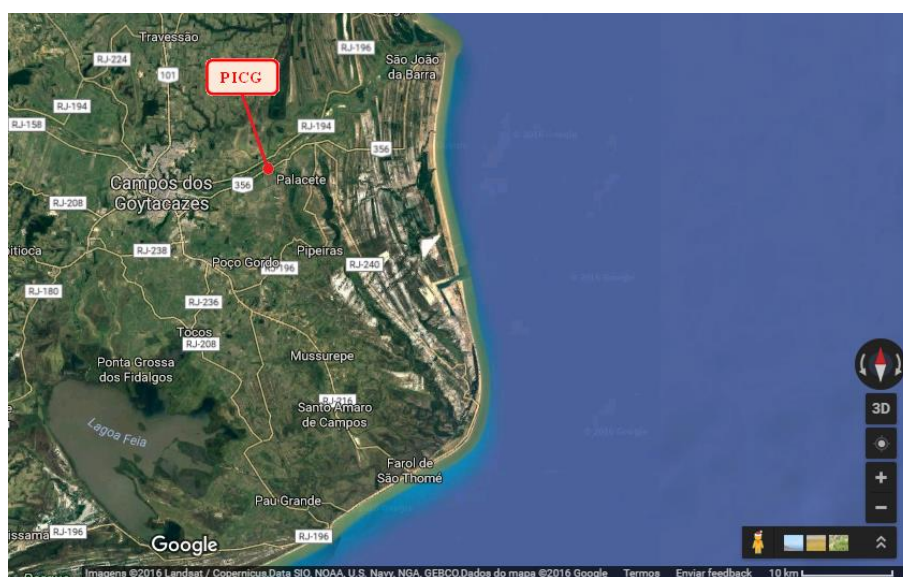
Entretanto, o sistema eólico isolado aplicado ao bombeamento de água pode ser realizado por uma bomba d'água em C.C. sendo a mesma conectada na saída C.C. do controlador de carga, desde que as tensões do motor da bomba e da saída do controlador de carga sejam compatíveis.

Desta maneira, o presente trabalho tem por objetivo determinar o rendimento de um sistema de energia eólica tipo autônomo para geração de energia elétrica aplicada em irrigação de olericultura orgânica no Polo de Inovação Campos dos Goytacazes (PICG).

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Material

O foco do trabalho apresentado baseou-se no estudo da aplicação da energia eólica em um sistema autônomo por meio de um aerogerador para irrigação de olericultura. Para isso, o sistema foi instalado no PICG do Instituto Federal Fluminense, situado à margem direita do Rio Paraíba do Sul, no município de Campos dos Goytacazes/RJ (Figura 1).



**Figura 1** – Localização do PICG no município de Campos dos Goytacazes, na região Norte do estado do Rio de Janeiro. Fonte: Google Maps® (GOOGLE, 2016).

O PICG está localizado nas coordenadas geográficas com latitude de 21°44'22.0'' Sul e longitude de 41°12'26.2'' Oeste, na BR 356, Km 158. A Figura 2 mostra uma vista aérea da área do PICG e a área da horta cerne deste trabalho.



**Figura 2** – Posicionamento da horta no PICG. Fonte: Google Maps® (GOOGLE, 2016).

O espaço irrigado consiste em uma área de aproximadamente 167,4 m<sup>2</sup>, onde se cultiva plantas de olericultura como: alface, couve, cenoura, salsa, cebolinha, cebola, berinjela, pimentão, couve-flor, entre outras hortaliças. Há uma horta orgânica que dispensa insumos químicos em sua produção. Esta plantação, já presente no local, atende as demandas de alimentação dos funcionários do PICG, tendo uma produção satisfatória, com boa qualidade e valor nutricional.

A água utilizada na irrigação pode vir de dois locais distintos: o tanque de piscicultura instalado na própria unidade ou da cisterna de 9.000 l que armazena água da chuva captada no telhado de um dos prédios do PICG.

Para montagem do sistema de irrigação e atender a horta orgânica do PICG foram utilizados os equipamentos descritos na Tabela 1.

**Tabela 1** – Equipamentos utilizados para montagem do sistema de irrigação com energia eólica.

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
01	Aerogerador do tipo horizontal	01	Pç
02	Controlador de carga 40A – 12/24V <sub>CC</sub>	01	Pç
03	Bateria estacionária 12V <sub>CC</sub> e 30A/h	01	Pç
04	Bomba d'água Solar Shurflo modelo 8000-443-136 (12V <sub>CC</sub> )	01	Pç
05	Aspersores	11	Pç
06	Tubulação de ½"	10	m

## 2.2. Método

O trabalho em questão consiste em uma pesquisa de campo tipo experimental, pois tem o objetivo de avaliar a eficiência da aplicação de energia eólica por meio de aerogeradores para sistemas de irrigação de olericulturas, pois, Marconi e Lakatos (2010, p.172) afirmam que pesquisas experimentais “*consistem em investigações de pesquisa empírica cujo objetivo principal é o teste de hipóteses que dizem respeito a relações de tipo causa-efeito*”.

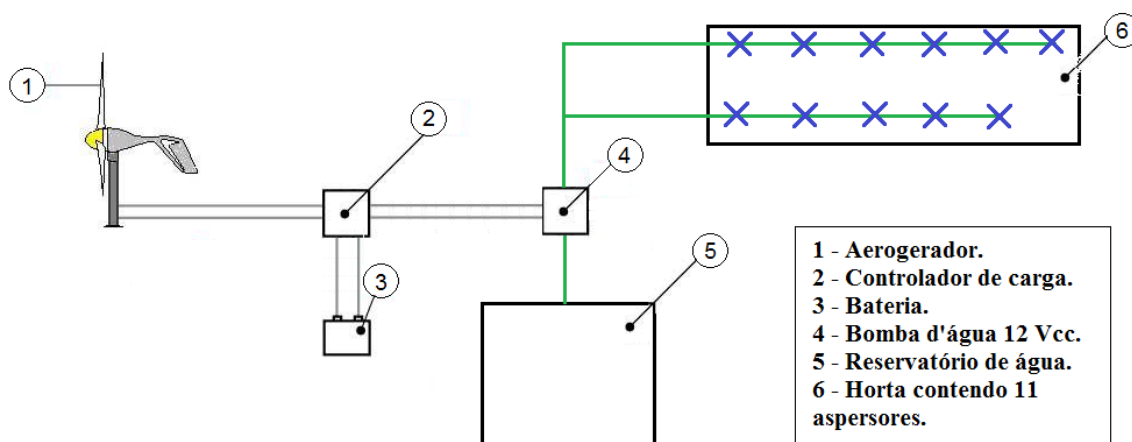
O trabalho foi dividido em três etapas: montagem, monitoramento e cálculo da eficiência do sistema.

### 2.2.1. Montagem

Nesta etapa, foi realizada a montagem do sistema elétrico-hidráulico do trabalho. Realizou-se a interligação do aerogerador, controlador de carga, a bateria, bomba d'água e aspersores.

A Figura 3 mostra a montagem proposta para interligação do sistema elétrico hidráulico. O seu funcionamento consiste em utilizar a energia cinética do vento para acionar as pás do gerador eólico (1), que por sua vez, gera energia elétrica enviando a mesma para o controlador de carga (2). Este último têm os objetivos de controlar a carga e a descarga da bateria (3) para que a mesma não seja danificada e alimentar diretamente a bomba (4). A bomba d' água receberá esta energia elétrica e converter em energia mecânica, fazendo a

captação de água de um reservatório (5) para a irrigação da horta por meio de 11 aspersores (6).



**Figura 3** – Montagem proposta para o sistema elétrico hidráulico.

As especificações técnicas básicas dos principais equipamentos utilizados na montagem são descritos nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

Vale destacar que, estes equipamentos foram aplicados ao problema em função de sua disponibilidade no PICG e de acordo com as suas especificações atenderiam ao propósito do experimento.

**Tabela 2** – Especificação técnica do aerogerador Air Breeze Marine 40

Especificação Técnica	
Potência	160 W a 12,5 m/s
Tensão	12 V
Energia gerada	40 kWh a 5,8 m/s
Vento para início de geração	2,68 m/s
Vento limite	49,2 m/s
Diâmetro do rotor	1,17 m
Massa	5,9 kg

Fonte: Air Marine (2002).

**Tabela 3** – Especificação técnica do Controlador de carga Phocos CX 40A

<b>Especificação Técnica</b>	
Corrente máxima	40A
Tensão	12/24Vcc
Carga de flutuação	14,4/28,8 V (25°C), 30 min. (diariamente)

Fonte: Phocos (2016)

**Tabela 4** – Especificação técnica da Bateria estacionária

<b>Especificação Técnica</b>	
Capacidade	30 A/h
Tensão	12 V
Corrente de curto-circuito	1400 A
Massa	10 a 11 kg

Fonte: Freedom (2016).

**Tabela 5** – Especificação técnica da Bomba d'água.

<b>Especificação Técnica</b>	
Tipo	Deslocamento positivo
Motor	ímã permanente
Tensão	12 V
Corrente máxima	7,2 A a 60 PSI
Vazão	4,6 l/min
Pressão máxima de entrada	30 PSI



Massa	2,0 a 2,1 kg
-------	--------------

Fonte: Neo Solar (2016).

### 2.2.2. Monitoramento

O objetivo do monitoramento foi registrar o comportamento do sistema de irrigação no que tange a velocidade do vento (m/s), tensão elétrica (V), corrente elétrica (A) do gerador e da bomba e vazão (l/h) na saída da bomba d'água. Estas grandezas físicas e elétricas foram medidas no intervalo de 24 de agosto a 15 de setembro de 2016 (23 dias). As medições foram realizadas diariamente, exceto aos finais de semana e feriados, entre 08h30min e 09h, com três medições no intervalo de dez minutos. Este horário foi escolhido para realização das medições por se tratar de um horário habitual de irrigação da horta pelos funcionários responsáveis do local, pois a irrigação da mesma é realizada apenas neste período.

É fundamental conhecer a ocorrência da velocidade média do vento na microrregião, pois está diretamente ligado ao potencial de geração de energia elétrica do sistema (ALÉ; OLIVEIRA; LOPES, 2010). Em relação aos ventos da região Norte do estado do Rio de Janeiro, DEUS (2008) mostra em seu estudo que a região do litoral norte do estado do Rio de Janeiro, local que se localiza o PICG, pode ser considerada uma área promissora para aplicação de sistemas eólico-elétricos de pequeno porte.

Foram utilizadas informações geradas pelo anemômetro tipo concha da estação meteorológica presente no PICG e comparou-se com as informações disponíveis no *website* do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB) para verificar a velocidade de vento média do local de instalação do sistema eólico em questão.

As medições de tensão e corrente elétrica foram realizadas a partir de quatro multímetros digitais, sendo um aparelho para medir a corrente (amperímetro alicate digital modelo Mesco DC-3266 da marca Politem), e outro para medir a tensão do aerogerador (multímetro digital modelo FLUKE 80, séries V – marca Fluke), o mesmo foi feito para a bomba. A partir destes dados foi possível realizar o cálculo da potência em Watt (W) conforme a Equação 1.

$$P = V.I \quad \text{Eq. 1}$$

Onde,

P = potência elétrica, em Watt (W);

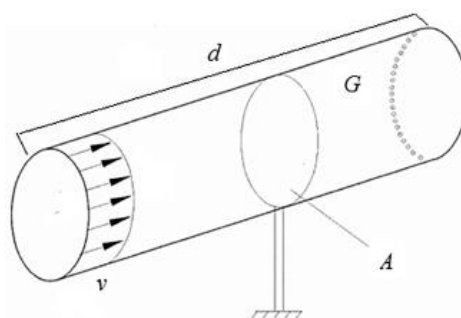
V = Tensão elétrica, em Volts (V);

I = Corrente elétrica, em Ampère (A).

As medições de vazão foram realizadas a partir de um medidor de vazão desenvolvido pela equipe do Laboratório de Energia Renovável, Eficiência Energética e Biocombustíveis (LEBio) do PICG. Vale ressaltar que estas medições não foram realizadas com a mesma periodicidade em função da disponibilidade do aparelho.

### 2.2.3. Cálculo do Rendimento do Sistema

A energia cinética do vento (energia primária) pode ser entendida a partir de fluxo de ar com massa ( $m$ ) se deslocando com velocidade ( $v$ ) ao encontro de um cilindro ( $G$ ) com área transversal ( $A$ ) (Figura 4).



**Figura 4** – Geometria cilíndrica utilizada para o conceito de energia cinética aplicada no gerador eólico. Fonte: PICOLO; RÜHLER; RAMPINELLI (2014).

De acordo com a Figura 4 a energia cinética pode ser calculada pela Equação 2 (ALDABÓ, 2002).

$$E_C = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo que, a massa de ar ( $m$ ) que atravessa uma área transversal ( $A$ ) depende da densidade do ar ( $\rho$ ) e velocidade de deslocamento da referida massa (Equação 3).

$$m = A \cdot \rho \cdot v \quad \text{Eq. 3}$$

Entretanto, a potência do vento varia ao longo do tempo e assim a mesma pode ser calculada conforme a Equação 4 (PINTO, 2013).

$$P = \frac{\partial E_C}{\partial t} \quad \text{Eq. 4}$$

Substituindo a Eq. 2 e Eq. 3 na Eq. 4, e integrando no tempo, tem-se a Equação 5 para o cálculo da potência do vento ( $P_V$ ) em um dado local.

$$P_V = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad \text{Eq. 5}$$

Conceitualmente, segundo Halliday, Resnic e Walker (2008) o rendimento consiste na razão entre a potência útil ( $P_U$ ) pela potência total ( $P_T$ ), sendo o resultado expressão em porcentagem, conforme a Equação 6.

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

Sendo assim, substituindo da potência útil pela potência elétrica do motor da bomba d'água ( $P_M$ ) dada pela Eq. 1, em Watt (W), e a potência total pela potência do vento que atinge a área feita pelo movimento das pás do aerogerador ( $P_V$ ) dada pela Eq. 5, em Watt (W), tem-se o rendimento do sistema eólico aplicado à irrigação proposto neste trabalho (Equação 7).

$$\eta = \frac{V_M \times I_M}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3} \times 100 \quad \text{Eq. 7}$$

Onde,

$\eta$  = Rendimento do sistema, em %;

$V_M$  = tensão elétrica da bomba, em Volts (V);

$I_M$  = corrente elétrica da bomba, em Ampère (A).

$\rho$  = densidade do ar, 1,225 kg/m<sup>3</sup>;

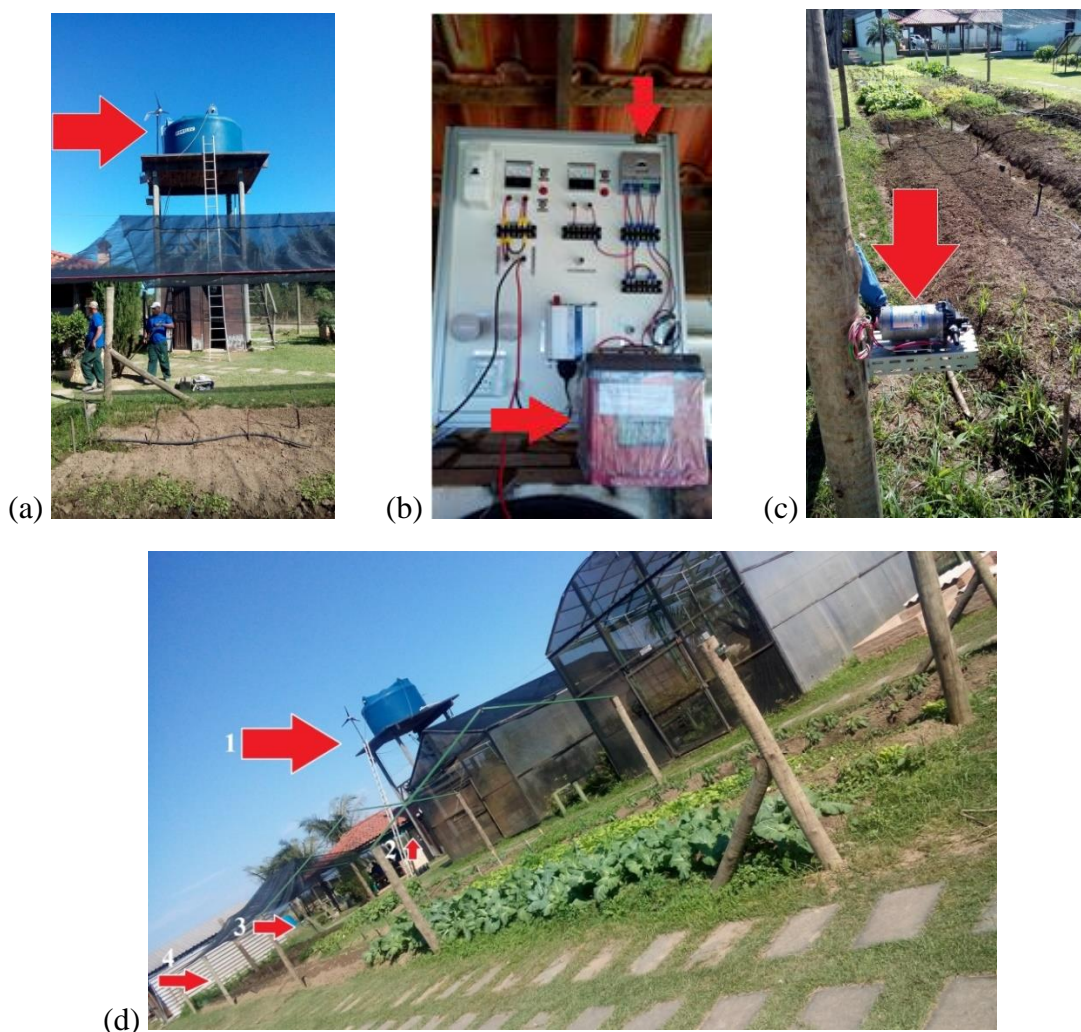
$A$  = área do rotor, em m<sup>2</sup>. Para o aerogerador tipo horizontal Air Breeze Marine de 160 W a área das pás é igual a 1,36 m<sup>2</sup>.

$v$  = velocidade média do vento, em m/s.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Montagem

O primeiro resultado do trabalho foi à montagem do sistema de irrigação por energia eólica. A Figura 5 mostra o sistema montado e funcionando para irrigação da plantação de olericultura com área de 167,4 m<sup>2</sup> situada no PICG.

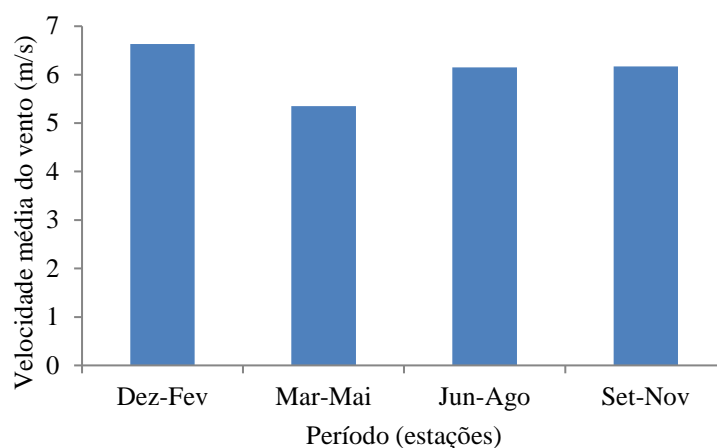


**Figura 5** – (a) Localização do aerogerador, (b) posicionamento do controlador de carga e da bateria, (c) disposição da bomba d'água, (d) interligação do sistema elétrico hidráulico, onde: 1- aerogerador, 2- controlador de carga e da bateria, 3- bomba d' água, 4- horta. Fonte: autoria própria.

### 3.2. Monitoramento do vento no PICG

A velocidade média do vento incidente no PICG foi obtida por duas fontes de dados: o CRESESB e a estação meteorológica do próprio Polo.

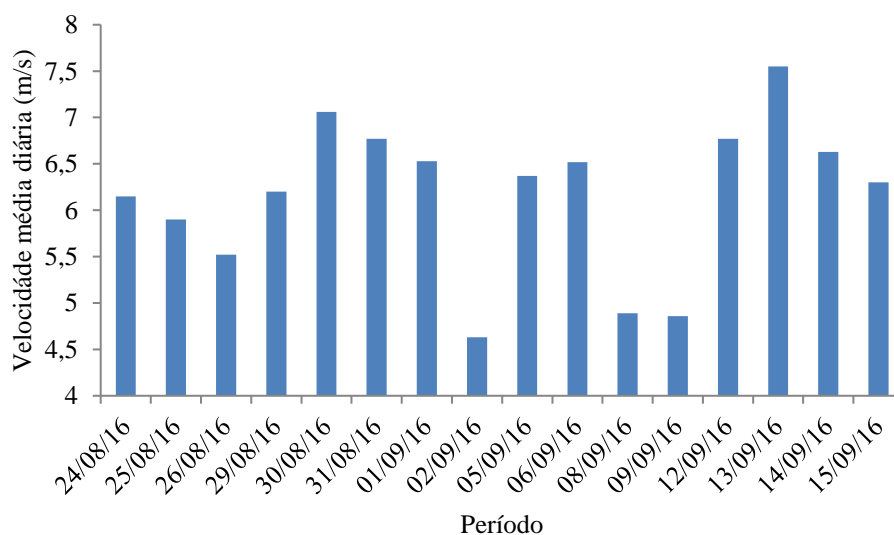
A Figura 6 apresenta as medidas de velocidade do vento dispostas no *site* do CRESESB, relacionadas aos meses do ano de 2015 e dispostos por estações na região onde o sistema foi implantado.



**Figura 6** – Velocidade Média Sazonal de Vento a 50m de Altura (m/s). Fonte: CRESESB (2016).

Nota-se que a velocidade média anual é de aproximadamente 6 m/s, tendo a maior velocidade média de vento nos períodos de dezembro a fevereiro (verão) com 6,63 m/s e a menor velocidade entre os meses de março a maio (outono) com velocidade média de 5,35 m/s e o restante do ano a velocidade do vento fica a cima da média.

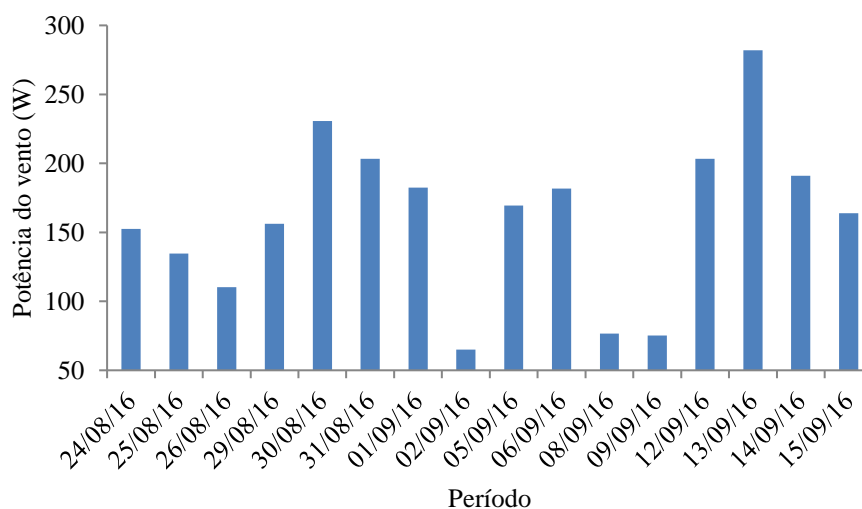
Na Figura 7 é possível verificar que os dados da velocidade média do vento referente ao período que foi montado o experimento (26 de agosto a 14 de setembro), a partir de informações obtidas na Estação Meteorológica do PICG, localizada na região e próxima a altura de instalação do aerogerador.



**Figura 7** – Velocidade média diária do vento, em m/s, a partir dos dados da estação meteorológica do PICG no período entre 24/08/2016 a 15/09/2016.

Em relação à velocidade do vento no local do experimento, observa-se que a Figura 7 corrobora com a Figura 6, pois estes apresentam a mesma média de velocidade do vento para o período, embora o vento seja um fenômeno natural variável, sendo influenciado por diversos fatores como relevo, rugosidade do solo e outros obstáculos distribuídos ao longo da região. Sendo assim, a média da velocidade do vento encontrada no local do trabalho mostra a sua viabilidade, pois para esse tipo de aplicação, a velocidade mínima é de 3,5 m/s a 4,5 m/s (CE-EÓLICA-PUCRS, 2016).

Utilizando os dados da estação meteorológica do PICG e a Equação 5 foi possível gerar a Figura 8 referente a potência do vento no local de instalação do experimento no período de 24 de agosto de 2016 a 15 de setembro de 2016.



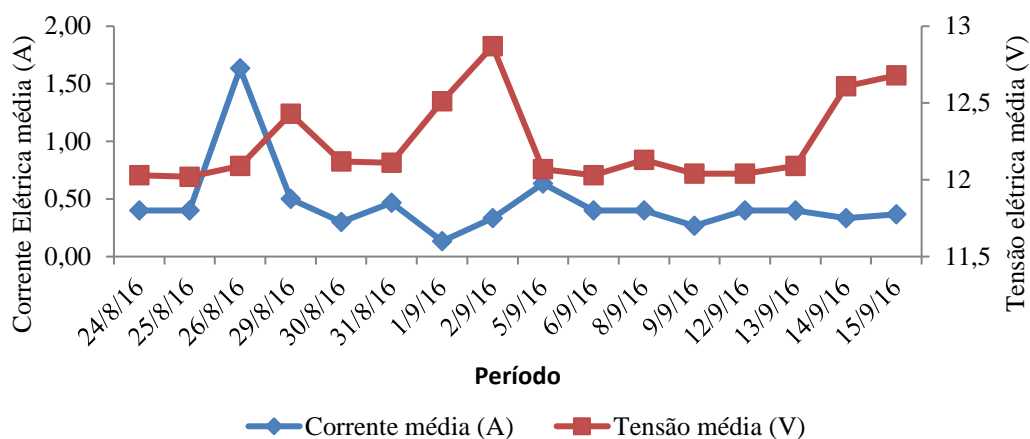
**Figura 8** – Potência média diária do vento incidente no PICG.

Verifica-se que houve uma significativa variação na potência do vento, obviamente em virtude da variação do vento no local, ficando a potência média no período medido em  $161 \pm 59$  W. Como consequência, essa variação influenciará no rendimento do sistema.

### 3.3. Monitoramento do sistema

Os resultados do monitoramento do sistema compreendem o comportamento elétrico do aerogerador e o comportamento elétrico e hidráulico da bomba d'água.

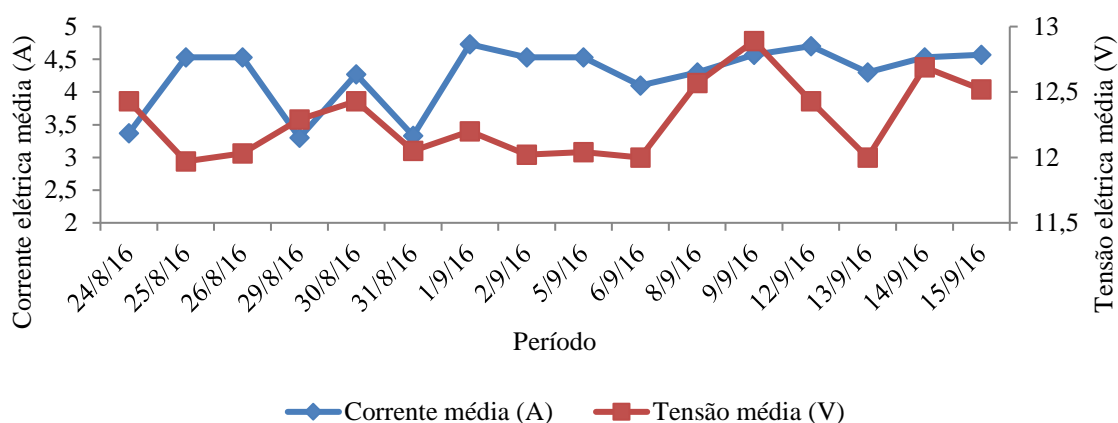
A Figura 9 mostra as médias de corrente e tensão elétrica do aerogerador no intervalo de 24 de agosto a 15 de setembro de 2016.



**Figura 9** – Valores médios de corrente elétrica e tensão elétrica no aerogerador,  $\sigma = 0,35\text{A}$  e  $\sigma = 0,31\text{V}$ .

A corrente elétrica apresentada na Figura 9 é em decorrência do carregamento da bateria, tendo um comportamento estável em função do controlador de carga, pois este último manteve a bateria em flutuação. Somente no dia 26/08/2016 a corrente no aerogerador ficou entre 1,6A a 1,7A porque houve a necessidade de um carregamento da bateria, pois a mesma não se encontrava totalmente carregada. Observar-se também que a tensão elétrica no aerogerador variou entre 12V a 13V, valor dentro dos parâmetros para o aerogerador.

A Figura 10 mostra o comportamento da bomba d'água no intervalo de 24 de agosto a 15 de setembro de 2016.

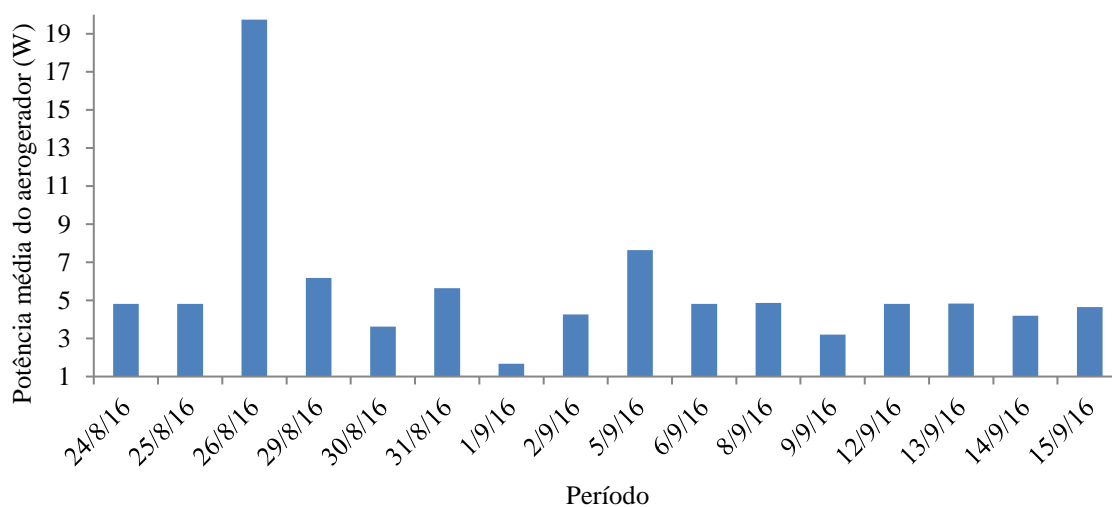


**Figura 10** – Valores médios de corrente elétrica e tensão elétrica na bomba d'água,  $\sigma = 0,53\text{A}$  e  $\sigma = 0,34\text{V}$ .

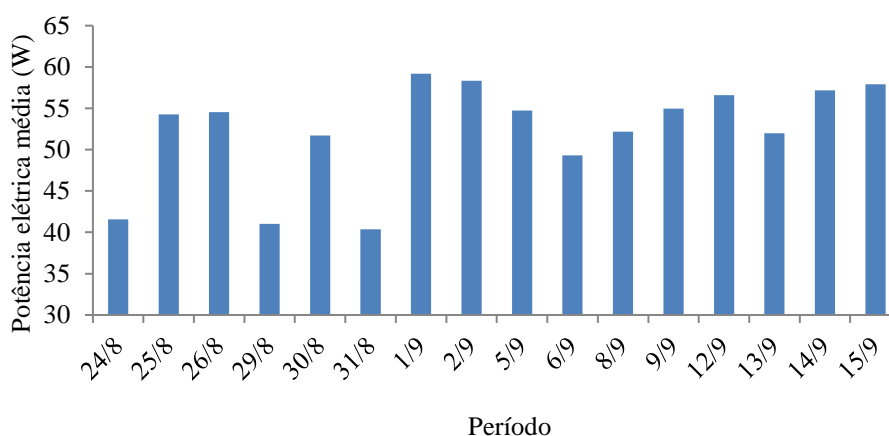
A corrente da bomba d'água, na Figura 10, teve uma maior variação, entre 3A a 5A e desvio padrão de 0,53A. Essa variação pode ser atribuída ao funcionamento e quantidade de aspersores irrigando a horta em um determinado tempo. Entretanto, em nenhum momento a corrente medida excedeu o valor nominal de corrente do motor da bomba que é de 7A.

A tensão elétrica da bomba d'água manteve-se estável (12V a 13V), pois o desvio padrão foi de 0,34V. Este fato se deu devido também ao controlador de carga, pois o mesmo tem a função de manter a tensão constante nos seus terminais de saída.

A potência do aerogerador e do motor da bomba são mostrados, respectivamente pelas Figuras 11 e 12. Os valores expostos nos Gráficos foram obtidos a partir da Equação 1 considerando os valores mostrados nas Figuras 9 e 10, respectivamente.



**Figura 11** – Potência elétrica gerada no aerogerador.



**Figura 12** – Potência elétrica solicitada pelo motor da bomba.

A potência produzida pelo gerador eólico no período em questão (Figura 11) foi utilizada apenas para manter a bateria carregada, tendo apenas no dia 26/08/16 um valor de 19,75 W por conta da necessidade do carregamento da bateria. Neste período, a potência média produzida foi de  $5,61 \pm 4$  W.



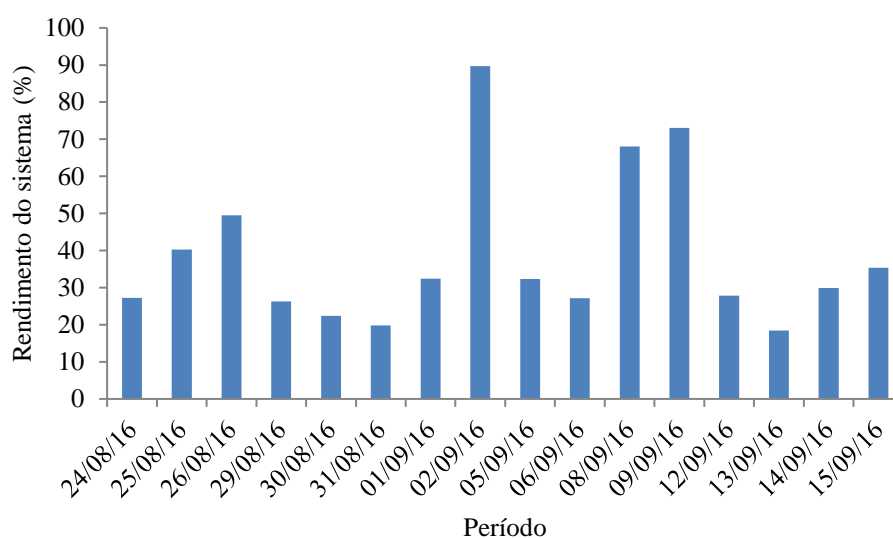
Esta potência média se deve pelo fato que no início do experimento a bateria já estava completamente carregada e o aerogerador continuou operando ao longo de todos os dias, ou seja, ele não estava com seu freio acionado, desta forma manteve-se o estado de carregamento da bateria e no momento em que a bomba era acionada a sua energia elétrica era proveniente da bateria. Por isso, o valor médio de potência do aerogerador foi de 5,61 W.

Já a potência do motor na bomba d'água (Figura 12) apresentou uma maior variação, conforme já ocorrido com a corrente elétrica, no respectivo motor. A potência média foi de aproximadamente  $52,24 \pm 6$  W, sendo que a potência nominal do motor da bomba é de 84 W, ou seja, o motor funcionou com 62% de sua capacidade. Desta maneira, a potência elétrica do motor está diretamente proporcional à exigência de operação na irrigação da olericultura.

A vazão da bomba d'água variou entre 423 e 455 l/h durante o período registrado. Sendo, a vazão nominal da bomba com recalque de 7 m igual a 455 l/h e a 14 m de 423 l/h, ou seja, ela trabalhou aproximadamente dentro de sua capacidade.

### 3.4. *Rendimento do sistema*

O rendimento do sistema, em porcentagem (%), no período compreendido entre 24 de agosto a 15 de setembro de 2016 é mostrado na Figura 13.



**Figura 13** – Rendimento do sistema no período compreendido entre 24 de agosto a 15 de setembro de 2016.

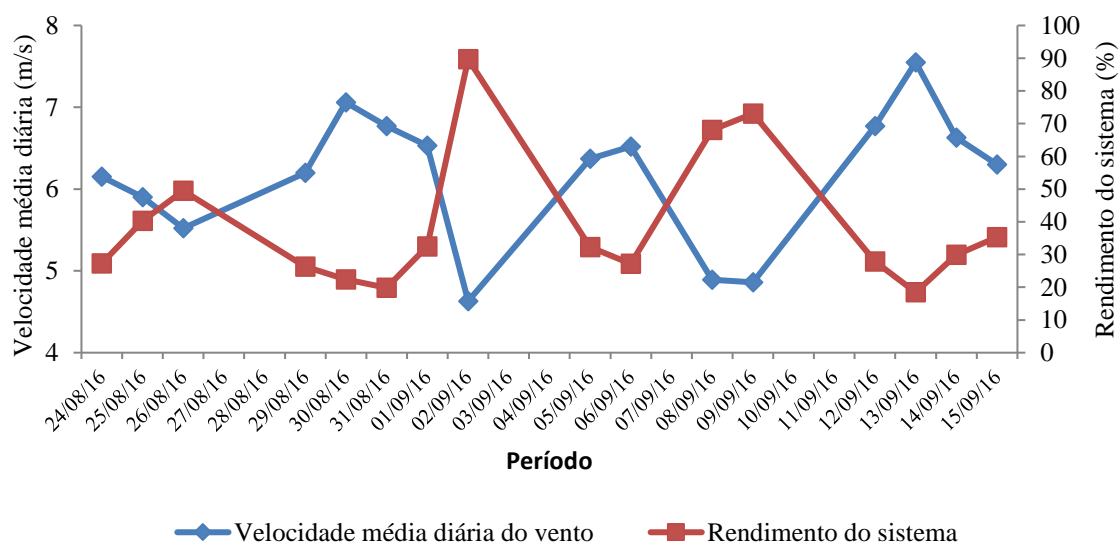
Para estes resultados, utilizou-se a Equação 7 e os dados de velocidade média diária do vento da estação meteorológica do PICG e exposta na Figura 7.

Nota-se que o sistema obteve um rendimento variando entre 18,4% a 89,7%, neste período, e obteve uma média de  $39 \pm 20,82\%$ , sendo este resultado em função de dois fatores: a área irrigada e a velocidade do vento no local.

A potência do motor (potência de saída do sistema) é escolhida conforme a área a ser irrigada e consequentemente, o número de aspersores utilizados (11 aspersores). Nota-se que, em média, a bomba operou com 62,19% de sua capacidade de carga.

Nesta relação de conversão eólio-elétrica, tem-se que o valor médio da conversão aerodinâmica por pás comerciais varia na faixa de 40% a 50% para turbinas de pequeno porte para carregamento de bateria (MACHADO *et al.*, 2007), estando, portanto o sistema proposto com rendimento esperado para este tipo de aplicação.

Por fim, é possível observar a relação existe entre velocidade média diária do vento, em m/s, e o rendimento do sistema, em %, para o experimento (Figura 14).



**Figura 14** – Relação entre velocidade média diária do vento, em m/s, e o rendimento do sistema no período compreendido entre 24 de agosto a 15 de setembro de 2016.

Percebe-se que, para este caso, velocidades médias diárias de vento acima de 5 m/s fizeram com que, em sua maioria, os rendimentos médios diários do sistema ficassem abaixo de 40%. Então, este exemplo torna-se interessante para áreas com velocidade médias diárias de vento entre 3,5 a 5,0 m/s, conforme indicação do Centro de energia eólica da Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul (CE-EÓLICA-PUCRS, 2016).

#### 4. Considerações finais

O rendimento médio diário do sistema de bombeamento de água proposto foi de 39%. Em princípio, o valor encontrado ficou abaixo do mostrado na literatura, no entanto o sistema teve a capacidade de atender a área irrigada.

Notou-se que, em decorrência da operação contínua do aerogerador ao longo dos dias, a bateria ficou sempre carregada. Logo, no período que a bomba era acionada o aerogerador não necessitava entregar, na maioria do tempo, energia elétrica para acionar a bomba, ou seja, no período de utilização da mesma o suprimento de eletricidade foi proveniente da bateria por meio do controlador de carga. Desta forma, a bateria teve um papel primordial para garantia do fornecimento de potência elétrica para o motor da bomba d'água.

Desta maneira, a implantação do sistema eólico como alternativa energética para atender as necessidades de alimentação elétrica no perímetro irrigado do PICG com as condições de velocidade de vento local é capaz de fornecer água, principalmente no que diz respeito ao bombeamento para irrigação da olericultura local.

Como trabalhos futuros, é sugerido o desenvolvimento dos seguintes estudos:

- Dimensionamento hidráulico e elétrico para sistema eólico autônomo para irrigação;
- Avaliação do rendimento do sistema de irrigação por energia eólica em um maior que um ano de monitoramento;
- Avaliação do rendimento do sistema de irrigação utilizando outro tipo de aerogerador, por exemplo, tipo vertical.

#### 5. Agradecimentos

Ao Laboratório de Energias Renováveis, Eficiência Energética e Biocombustíveis (LEBio) do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes (PICG)/ Instituto Federal Fluminense (IFF).

#### 6. Referências

ACKERMANN, T.; SODER, L. An overview of wind energy – status 2002. *Renewable Sustainable Energy*, v. 6, n. \_\_, p. 67-127, 2002.

ALBIERO, D. *et al.* Turbina eólica para agricultura familiar do semiárido com inovações tecnológicas para baixas velocidades de vento. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 45, n. 1, p.186-196, 2014.

ALÉ, J.A.V.; OLIVEIRA, C.P.; LOPES, A.M.G. Caracterização eólica de microrregião utilizando torre meteorológica e ferramenta computacional. 1º Seminário Nacional sobre Engenharia do Vento – SENEV. Belo Horizonte, 2010.

ALDABÓ, R. Energia eólica. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

AIR MARINE. *Owner's manual*. Flagstaff, 2002. 42 p.

BORGES NETO, M.R.; CARVALHO, P. Geração de energia elétrica – fundamentos. São Paulo: Érica, 2012.

CAMELO, H.N. *et al.* Previsão de velocidade média do vento através da utilização de modelagem Auto Regressiva de Médias Móveis (ARMA) em região Serrana do estado do Ceará. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.4, n. \_\_, p. 17-29, 2015.

CENTRO DE ENERGIA EÓLICA. Perguntas Frequentes sobre Energia Eólica. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/ce-eolica/>>. Acessado em: 16 de agosto de 2016.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. Potencial eólico. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>> Acessado em: 13 de março de 2016.

DEUS, A.E. Estudo de variabilidade do regime de ventos do litoral norte do estado do Rio de Janeiro para geração eólico-elétrica. 2008. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos (CEFET-Campos), Campos dos Goytacazes, 2008.

FEITOSA, E.O. *et al.* Simulação do aproveitamento da energia eólica para irrigação no distrito de Irrigado Baixo – Acaraú-CE. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 3, n. \_\_, p. 65-79, 2014.

FREEDOM. Bateria Freedom – DF300 – especificação técnica. Disponível em: <<http://www.powersafe.com.br/portfolio/bateria-estacionaria-freedom-df300/>>. Acessado em: 20 de agosto de 2016.

GOMES, L. E. B.; HENKES, J. A. Análise da energia eólica no cenário elétrico: aspectos gerais e indicadores de viabilidade econômica. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 3, n. 2, p. 463-482, out-2014/mar-2015.

GOOGLE. Google Maps. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acessado em: 26 de agosto de 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física – vol 1: Mecânica. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

JUNFENG, L. *et al.* A study on the pricing policy of wind power in China. Brussels: GWEC, 2006.

MACHADO, I.R. *et al.* Sistema eólico para carregamento de baterias. *Eletrônica de Potência*, v. 12, n. 2, p. 97-104, 2007.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. Fundamentos de metodologia científica. 7ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

NASCIMENTO, T.C.; MENDONÇA, A.T.B.B.; CUNHA, S.J. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. *Cad. EBAPE.BR*, v.10, n. 3, p. 630-651, 2012.

NEO SOLAR. Bomba Solar Shurflo 8000 12V. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/bomba-solar-shurflo-8000-12v.html>>. Acessado em: 20 de agosto de 2016.

PICOLO, A.P.; RÜHLER, A.J.; RAMPINELLI, G.A. Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 4, p. 4306-1-4306-13, 2014.

PINTO, M.O. Fundamentos de energia eólica. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2013.

PHOCOS. Datasheet CXN series (10 – 40 A). Disponível em: <[http://www.phocos.com/wp-content/uploads/2016/07/Phocos\\_datasheet\\_CXN\\_e-web.pdf](http://www.phocos.com/wp-content/uploads/2016/07/Phocos_datasheet_CXN_e-web.pdf)>. Acessado em: 20 de agosto de 2016.

REIS, L.B. Geração de energia elétrica – 2ª ed. Barueri: Manole, 2011.

TERCIOTE, R. Análise da eficiência de um sistema eólico isolado. 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Planejamento de Sistemas Energéticos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

THIAM, D.R. Renewable energy, poverty alleviation and developing nations: Evidence from Senegal. *Journal of Energy in Southern Africa*, v. 22, n. 3, p. 23-34, 2011.