

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA AVALIAÇÃO DE FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BOMBEAMENTO DE ÁGUA¹

JOSÉ FERNANDO PRESENÇO² & ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM³

RESUMO: A utilização de sistemas energéticos alternativos, nos dias atuais, é uma necessidade de caráter urgente devido aos problemas que o planeta vem enfrentando como o aquecimento global, efeito estufa e a perda da camada de ozônio. A limitação das fontes de energias convencionais é outro problema que terá de ser equacionado para o futuro da humanidade; deve-se considerar que as pessoas estão habitando cada vez mais locais afastados e desprovidos de infra-estrutura energética. Aplicando-se tecnologias como as de automação e controle podemos solucionar esse problema; portanto, o trabalho visou a aplicação de um equipamento de uso industrial, o Controlador Lógico Programável, CLP, em sistemas de energias renováveis, notadamente os sistemas de geração eólica e geração fotovoltaica, usados para bombeamento de água, objetivando-se um controle automático e mais eficiente nos locais onde haja disponibilidade simultânea dessas fontes, baseados em critério de prioridade pré-estabelecido. O trabalho fez, também, uma avaliação do potencial hidráulico e energético dos sistemas de energia fotovoltaica e eólica utilizados no sistema automático de bombeamento de água no local para as condições físicas pré-estabelecidas. Os resultados mostraram que o sistema de controle utilizando o CLP é viável, possui confiabilidade e o programa desenvolvido em linguagem Ladder pode ser adaptado para a utilização com várias fontes de energia disponíveis em um determinado local. O sistema fotovoltaico de bombeamento direto, que utilizou um painel solar de 70 Watts ligado a uma bomba Shurflo 8000, mostrou-se eficiente com vazões significativas em quase todos os meses. O sistema eólico de bombeamento indireto, utilizando um mini aerogerador de 400 Watts alimentando uma bateria ligada à bomba Shurflo, não demonstrou capacidade energética suficiente para utilização nesse tipo específico de aplicação.

Palavras-chave: Sistema automatizado, energia alternativa, bombeamento de água.

¹ Parte da tese de doutorado do 1º autor intitulada: Desenvolvimento de um sistema de controle para avaliação de fontes de energias renováveis no bombeamento de água

²² Aluno do programa de Pós-graduação em Agronomia – Energia na Agricultura – FCA/ UNESP- Botucatu/SP, Brasil.

³ Orientador e Docente do Departamento de Engenharia Rural – FCA/UNESP – Botucatu/ SP – Brasil

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR EVALUATION OF RENEWABLE POWER PLANTS IN THE WATER PUMPING

SUMMARY: *The use of alternative energy systems in the current days is an urgent necessity due to the problems that the planet is facing as the heating and loss of ozone layer. The scarcity of conventional energy is another problem that must be solved for the future of humanity. It must be considered that the people are inhabiting places moved away not always with available energy. The application of technologies as automation and control can help us to solve this problem. Therefore, this work aimed at apply an equipment of industrial usage, the Programmable Logical Controller, PLC, in alternative energies systems, as eolic generation and fotovoltaic generation used for water pumping, aiming the automatic control and the efficiency in the places where it has simultaneous availability of these sources, based in criterion of priority that previously established itself between them. It was made a hydraulic and energetic evaluation of the energy system, eolic and fotovoltaic, used in the automatic control system of pumping, in the place of accomplishment of the experiment, according to previously established physical conditions. The results have shown that the control system using the PLC is practicable and has trustworthiness. The program developed can be adapted for the use with several power plants in a specific application place. The fotovoltaic system of pumping, using a polycrystalline of 70 Watts connected to a pump Shurflo 8000, showed to be efficient with significant flows in almost all the months. The eolic system of pumping, using an eolic generator of 400 Watts assembled in place of experiment, did not demonstrate energetic capacity for use in this specific type of application.*

Keywords: *Automatic system, alternative energy, water pumping.*

1 INTRODUÇÃO

Todas as atividades humanas sobre a Terra levam à mudanças no meio ambiente. E, sem dúvida, muitos desses impactos são provenientes da geração e uso da energia. Avaliações estatísticas sobre o uso de energia nos tempos atuais mostram que 86% do consumo provêm de fontes não renováveis, petróleo, gás natural, energia nuclear e os restantes 14% de fontes renováveis, sendo que 53% desse consumo ocorre em 24 países chamados desenvolvidos. Esta enorme dependência de fontes não renováveis tem acarretado preocupação permanente com o esgotamento destas fontes e com a emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Imaginando-se que os 47% dos países ditos subdesenvolvi-

dos ou em desenvolvimento possam atingir maiores níveis de desenvolvimento na economia mundial, o consumo de energia e a emissão de CO₂ acabarão inviabilizando a vida na Terra. A menos que se explorem e se desenvolvam outras fontes, preferencialmente, fontes renováveis de energia tais como Solar, Eólica e Biomassa. Dentro desse ponto de vista, para podermos desenvolver países ou regiões subdesenvolvidas, a aplicação dessas fontes renováveis se faz necessária e imprescindível, não só para a população desses locais, mas para toda a humanidade.

Uma necessidade básica dessas pessoas é o consumo de água, de forma individual ou coletiva, para higiene, consumo ou irrigação. Em regiões afastadas, isoladas, não providas de energia elétrica, a obtenção deste bem é difícil e, muitas vezes, feito de forma arcaica, a partir de rios e poços. Para poder-se aproveitar melhor esse bem e dar melhor qualidade de vida às pessoas, devem ser instalados dispositivos que são utilizados em regiões desenvolvidas, como bombas de água e chuveiros. Acontece que nem sempre há interesse por parte das companhias de distribuição de energia elétrica em levar essa energia às comunidades. Logo, o melhor aproveitamento da água fica comprometido. A alternativa tecnológica é a aplicação de energias renováveis, tais como a energia solar e a energia eólica. A combinação delas, formando um sistema chamado de híbrido para abastecer essas comunidades é uma alternativa relevante, pois na falta de uma dessas fontes, a outra pode suprir o abastecimento, aumentando a capacidade energética do sistema; para isso, o momento de intervenção de cada fonte não pode ocorrer de modo aleatório, mas de modo programado, baseado na fonte com maior eficiência em um determinado momento do dia. Isto é conseguido com a aplicação de sistemas automatizados de controle, que por sua vez, devem ser energizados pelas mesmas fontes alternativas renováveis que serão aplicadas no abastecimento da comunidade. Com a aplicação de várias fontes renováveis, combinadas com um sistema automatizado de controle, como um CLP, a disponibilidade de água atingirá uma boa eficiência durante todo período do dia. Logo, a qualidade de vida pode aumentar de forma significativa. As energias renováveis são cada vez mais utilizadas porque permitem o desenvolvimento sustentável, são menos poluentes e evitam a dependência de energéticos fósseis esgotáveis. Esta dependência dos combustíveis fósseis além de aumentar o efeito estufa do planeta nos torna mais vulneráveis com relação ao maior reservatório mundial: o Oriente Médio (Palz, 2002). O trabalho utilizou as energias eólica e fotovoltaica como fontes disponíveis no local do experimento (Unesp, Botucatu). A energia eólica vem sendo estudada no Brasil com um dos objetivos principais: atender os usuários rurais, seja para geração descentralizada de eletricidade ou para irrigação. Há muitos tipos de turbinas eólicas que são utilizadas para bombeamento de água e para geração de eletricidade (Silva, 2000). A existência de ventos constantes é um fator determinante para a instalação de sistemas eólicos de bombeamento de água. Martins (1993) analisou o regime dos ventos da região de Botucatu, em cinco locais com altitudes bastante diferentes, por meio de estatísticas. A velocidade média predomi-

nante foi de 2,2 m/s. Segundo Islam et al (1995), a turbina eólica pode ser útil para operar bombas de irrigação. Há muitos tipos de turbinas eólicas que são utilizadas para bombeamento de água e para geração de eletricidade. Outra fonte energética utilizada neste trabalho foi a fotovoltaica. Segundo Green et al.(2001), o efeito fotovoltaico, relatado pela primeira vez por Edmond Becquerel em 1839, decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais semicondutores na presença da luz, constituindo-se no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos da estrutura do material. Lorenzo (1994) comenta que o módulo fotovoltaico é a unidade básica comercialmente disponível, proporcionando proteção mecânica e ambiental às células e permitindo a sua utilização exposta ao tempo. As células fotovoltaicas podem ser construídas de Silício Monocristalino -(mono-Si), Silício policristalino -(poly-Si) ou Silício amorfo (a-Si), sendo que as duas primeiras tecnologias são as mais empregadas atualmente (CRESESB,2005). Para Loxxom & Durongkaverroj (1994), um sistema fotovoltaico de bombeamento diretamente acoplado é constituído de três componentes principais: um conjunto fotovoltaico, um motor de corrente contínua e uma bomba d'água. O painel fotovoltaico converte energia solar em corrente elétrica que alimenta o motor, o qual é acoplado à bomba d'água. Quando o painel supre o motor com potência elétrica suficiente, ele produz torque mecânico e a bomba começa a trabalhar. O rendimento e a capacidade de bombeamento dos sistemas fotovoltaicos são particularmente dependentes de certas condições de trabalho. Conforme Silva (2000), a radiação solar aplicada sobre o módulo gera energia elétrica para o bombeamento de água, e a vazão bombeada mantém relação com a altura manométrica e capacidade de geração dos módulos fotovoltaicos. Thomas (1987) esclarece que as bombas de diafragma e de pistão são as mais adaptadas e recomendadas aos sistemas fotovoltaicos diretamente acoplados, porque a produção independe da carga, sendo diretamente proporcional ao volume varrido pelo diafragma ou pelo pistão e por responderem melhor às variações de potência provocadas pela irradiância solar. O sistema de automação foi desenvolvido com a aplicação do CLP (Controlador Lógico Programável), que segundo Natale (1995), consiste em um microcomputador para aplicações dedicadas à realização de tarefas específicas de automação.

Portanto, este trabalho objetivou:

I) Desenvolver um sistema automatizado, usando Controlador Lógico Programável, aplicável em sistemas com mais de uma fonte de energia, que deve escolher entre fontes de energias renováveis disponíveis no local de aplicação, que acrescenta maior eficiência para um determinado momento, baseado num sistema de tomada de decisão com critério de prioridade pré-definido.

II) Avaliar os potenciais energético e hidráulico da fonte solar e da fonte eólica utilizada no sistema de automação desenvolvido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Localização física: a pesquisa foi desenvolvida no Núcleo de Energias Alternativas e Renováveis (NEEAR) da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (FCA / UNESP), localizada no município de Botucatu, São Paulo, com localização geográfica definida pelas coordenadas 22° 51' 04'' Latitude Sul e 48° 26' 42'' Longitude Oeste; altitude média de 786 metros acima do nível do mar com clima subtropical úmido e temperatura média anual de 22° C. O laboratório utilizado para a montagem e monitoramento dos dados meteorológicos, elétricos e hidráulicos está instalado numa área cercada com alambrados, composto por módulos fotovoltaicos, um aerogerador instalado a 12 metros de altura e por uma estação meteorológica, composta de uma torre de 10 metros de altura, equipada com sensores e equipamentos de aquisição de dados.

Sistema hidráulico: composto de duas bombas de diafragma Shurflo 8000, com objetivo do recalque de água de duas caixas localizadas ao nível do solo, com volume de 100 litros cada, para uma terceira caixa localizada a 6 metros de distância e a uma altura geométrica de 3 metros. A tubulação de recalque utilizada no sistema tem diâmetro de 3/4'' em PVC, e a tubulação de retorno, de 2''. Na tubulação foram inseridos dois hidrômetros que monitoravam a vazão fornecida por cada bomba. Também foi colocado um hidrômetro eletrônico, desenvolvido na FCA, para medição da vazão da água. Este hidrômetro consta de um sensor indutivo localizado dentro da estrutura de um hidrômetro convencional que gera os pulsos por volta do eixo rotativo do hidrômetro. A frequência de pulsos gerada é convertida, no CLP, em litros de água pelo programa desenvolvido para essa automação. O retorno da água ocorre por uma tubulação de 2'' de diâmetro ligada na parte inferior da caixa elevada. A descarga era controlada por dois sensores de nível localizados na caixa superior, sendo um para indicar o nível mínimo de água e o outro para indicar o nível máximo de água. Quando o sensor de nível máximo era atingido, uma válvula solenóide, localizada na tubulação de descida era acionada; sendo assim, a caixa é esvaziada até que o sensor de nível mínimo seja ativado e feche a válvula solenóide, reiniciando o bombeamento de água por uma das bombas. O volume

existente no corte de cone formado entre os dois sensores da caixa superior era de 62,7 litros. Portanto, toda vez que o sensor de nível superior é atingido, esse volume foi recalcado. O número de vezes de seu acionamento foi registrado pelo CLP.

Sistema eólico: Para desenvolvimento do sistema automatizado aplicado em energias alternativas, utilizou-se um aerogerador montado nas instalações do Laboratório de Energização Rural da FCA. O aerogerador existente era o modelo AIR - X, de 400 Watts de potência. Este aerogerador é utilizado para carregamento de baterias. Era constituído de alumínio visando aplicações em áreas marítimas e também ajudar na dissipação de calor gerado pelo circuito interno. A hélice do rotor era composta de três pás, sendo construída com material termoplástico a base de carbono. O alternador utilizado era trifásico, do tipo brushless, com ímãs de forte campo magnético colocados no rotor. O sinal AC gerado é retificado internamente por uma ponte retificadora, produzindo a saída DC para alimentar a bateria; possui um sistema de controle eletrônico que se utiliza de um microprocessador para monitoramento das variáveis necessárias. Monitora a voltagem na saída da turbina. Quando a máxima voltagem é atingida, um sistema de freio era acionado. Isso cortava a voltagem de saída da turbina e a hélice era levada para uma baixa rotação. O freio permanece até que a voltagem caia levemente abaixo de 12,6 V. Nesse ponto o freio era liberado e a turbina voltava a carregar a bateria. O aerogerador carregará a bateria até que o valor de referência ajustado seja atingido (14,1 V). Nesse instante, ele entra no chamado modo de regulação, cortando a saída automaticamente, interrompendo a sua rotação, não gerando mais nenhuma potência. Ela aguarda para retomar o carregamento quando a voltagem inferior for atingida. Esses valores podem ser ajustados através de um potenciômetro localizado no corpo do aerogerador. Há no aerogerador um sistema de proteção contra sobre velocidade - Stall mode - que era ativado quando a velocidade do vento atingia 15,6 m/s ; permanecia nesse estado até que a mesma caia para 14,4m/s Se forem detectadas velocidades acima de 22,3 m/s , ele freava por um tempo de 5 minutos.

Sistema fotovoltaico: O sistema de energia utilizou ao todo 4 painéis solares. Um painel para a alimentação direta da bomba hidráulica. Esse sistema era responsável pelo bombeamento constante da água para a caixa elevada. As características hidráulicas e energéticas do sistema Painel - Bomba era um dos objetivos do trabalho. O Painel usado para alimentação da bomba Shurflo era um S70, Shell, Poli-cristalino. Para a alimentação do sistema de controle, composto do CLP, inversor de frequência e o sistema de aquisição de dados meteorológicos, foram usados dois painéis de 45 W, mono cristalino, fabricação Heliodinâmica, modelo HM45D12, ligados em série para que o conjunto obtivesse a tensão nominal de saída de 24 V. Foi utilizado um painel mono cristalino, Siemens de 65 Watts - SP65-, como uma das alternativas para o sistema de energia. Esse painel tem como função manter carre-

gada uma bateria de 12V, 150 Ah, para alimentar, quando necessário, a bomba Shurflo nos ensaios realizados.

Sistema de medidas meteorológicas: Foram utilizados: anemômetro RM-YOUNG WIND MONITOR (0 a 60 m/s), piranômetro CM3-KIPP&ZONEN (0 a 2000W/m²), termo higrômetro HMP45C,(-400C a +600C) e datalogger CR23X , todos equipamentos Campbell.

Sistema elétrico de controle: Controlador Lógico Programável, FP 56, Matsuhita, 127Vac. Relês Schrack, 12 VCC,10A. Inversor de Frequência, PWZ 300, Portawatts. Resistores Shunt, 30A/150mV, Kron. Baterias, 150 Ah, 12V, Ajax. Controlador de Carga, Isoler, 20A, Isofóton

2.2 MÉTODOS

Para automatizar a operação do sistema de bombeamento de água com fontes de energia renováveis, utilizando o CLP, foi montado um circuito elétrico e hidráulico, e estabeleceu-se um critério de prioridades entre as fontes. Este trabalho utilizou três fontes:

Painél Solar Policristalino,70W; alimenta diretamente uma bomba hidráulica Shurflo 8000

Painel Solar Monocristalino,65W; alimenta uma bateria,12V,150Ah. Esse sistema alimenta outra bomba Shurflo 8000 Gerador Eólico, 400W, alimentando outra bateria.Essa bateria alimenta uma bomba Shurflo

A opção por uma fonte deve obedecer a um critério pré-estabelecido:

1º - Fonte Solar Direta (A) - Saída Y0 do CLP

2º - Fonte Solar Indireta (B) - Saída Y1 do CLP

3º - Fonte Eólica Indireta (C) - SaídaY2 do CLP

O sistema automatizado, além da determinação da fonte conforme a prioridade estabelecida, teve de adequar o hardware e o software para as seguintes condições:

Operação Automática ou Manual: Faz com que a operação seja feita de uma maneira automática, onde a fonte que acionará a bomba seja a pré-estabelecida no software ou uma escolhida no painel de controle por um operador(operação manual).

Detecção e medida do fluxo de água na tubulação: Possibilita a mudança de fonte por esgotamento de energia e a medida instantânea da vazão.

Medição do tempo de funcionamento de uma fonte: Possibilita saber o tempo de contribuição de cada fonte para o sistema de bombeamento, habilitando estudos de eficiência e operacionalidade.

Fluxo constante de água entre as caixas inferiores e a superior: O sistema requer que haja sempre

vazão entre as caixas, o que deve ser previsto com a interligação entre as mesmas; colocação de sensores de nível máximo e mínimo na caixa superior e válvula solenóide para esvaziamento e retorno de água.

Aquisição de dados: Possibilita a determinação do volume bombeado por dia de operação e o tempo de bombeamento por dia e por fonte.

Reinício automático: Deve prever a parada e o reinício das operações sempre que se chegar ao fim de um período estabelecido para o estudo de uma semana.

Após a montagem, o sistema foi submetido a testes constantes de funcionamento para avaliar sua confiabilidade e determinar as adequações necessárias em campo.

Aproveitando-se da estrutura montada, fez-se uma avaliação energética e hidráulica do sistema de bombeamento. A fonte de energia eólica e a fonte fotovoltaica foram avaliadas separadamente. A fonte eólica alimentou uma bateria ligada à bomba Shurflo 8000. A fonte solar usou um painel de 70 W ligado diretamente a outra bomba. As condições físicas de montagem foram mantidas constantes durante todo o período de teste, 12 meses, com a inclinação fixa do painel em 230 em direção ao norte. A caixa superior ficou localizada a uma altura geométrica de três metros. A altura manométrica resultou em 17 mca, valor determinado por ensaio aplicado no sistema.

Para a aquisição de dados foi utilizado o datalogger que monitorou:

Radiação Solar

Temperatura local

Umidade relativa

Velocidade do vento

Índice pluviométrico

Corrente elétrica consumida pela bomba Shurflo

Tensão do painel, aplicada à bomba Shurflo.

Com o CLP, monitorou-se:

Volume bombeado em litros por dia: utilizando-se o hidrômetro com sensor eletrônico instalado.

Horas de efetivo funcionamento por dia: o software do CLP determina quantas horas por dia haverá efetivo funcionamento da bomba.

A análise desse sistema objetivou avaliar, para cada mês do período de teste estabelecido, (um ano), as seguintes características elétricas e hidráulicas:

Volume total bombeado no mês, V_t : pelo CLP e armazenado em sua memória de dados.

Vazão média no mês:

$$Q_m = \frac{Vt}{h} \quad (I)$$

onde Vt é o volume total bombeado em litros (Lt); h são as horas de efetivo funcionamento mensal.

A energia, Wh , total consumida pela bomba: A energia é obtida por integração da potência, considerando os intervalos de aquisição de dados programados no datalogger, a tensão aplicada pelo painel solar na bomba e a corrente consumida pela mesma bomba.

$$P = V \times I \quad (II)$$

P é a potência em Watts, V a tensão em volts e I , a corrente em ampéres.

Assim, a energia é dada por :

$$Wh = \sum_0^n \left(\int_0^t P(t) \cdot d(t) \right) \quad (III)$$

sendo n o número de intervalos de aquisição para o período do dia considerado de 9 horas (8 horas às 17 horas); t é o tempo do intervalo estabelecido no datalogger (5 minutos)

A radiação média do mês é dada por:

$$Radm = \frac{Radt}{Nd} \quad (IV)$$

$Radt$ é a radiação total do mês em W/m^2 e Nd é o número de dias.

A relação, R , entre o volume bombeado e a radiação média para o mês:

$$R = \frac{Vt}{Radm} \quad (V)$$

Volume médio diário:

$$Vd = \frac{Vt}{Nd} \quad (VI)$$

V_t é o volume total em litros no mês e N_d é o número de dias.

A relação , K , entre a energia consumida em Wh e o volume bombeado em litros:

$$K = \frac{Wh}{V_t} \quad (VII)$$

O potencial eólico :

Foi avaliado com o uso do datalogger e do anemômetro. Monitorou-se a velocidade média mensal do vento durante o período de testes (abril de 2006 a março de 2007) visando determinar o potencial para acionamento da bomba hidráulica acionada de maneira indireta, isto é, através de uma bateria. Os testes objetivaram indicar se o local é adequado ou não para se usar um gerador eólico como fonte de energia alternativa para bombeamento de água.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa primeira do trabalho mostrou a viabilidade de utilização de um Controlador Lógico Programável em aplicações no meio rural e integrado a sistemas de energia alternativa. A ação de controle proposta foi obtida de acordo com o desejado. Portanto, automatizar sistemas híbridos com o uso do CLP, como foi proposto no trabalho, é uma possibilidade atrativa para melhorar o desempenho desses sistemas; o uso de mais fontes é uma possibilidade para o sistema, bastando haver no local da aplicação a variedade necessária, fator que decorre de condições meteorológicas e de investimentos.

Uma grande vantagem observada na aplicação do CLP foi quando da necessidade de ajuste do sistema, pois somente foi necessário fazer-se alterações em seu software sem modificações nas ligações físicas. O tempo de varredura entre as fontes e o tempo de duração de um ciclo para haver nova varredura foram ajustados nos respectivos temporizadores internos do CLP. A vazão mínima considerada, chamada de limiar, foi ajustada no programa. Foram inseridas linhas que permitiram a aquisição de dados utilizando-se as memórias internas do controlador. Este fato torna o programa extenso, mas uma aplicação onde seja necessária somente a ação de decisão deixa o programa com menos linhas, permitindo o uso de controladores de menor custo. A automatização do sistema de bombeamento propiciou a avaliação das fontes de energia utilizadas no aspecto do rendimento energético. O sistema fotovoltaico de alimentação forneceu os valores para as variáveis monitoradas, conforme a tabela 1.

Tabela 1- Medidas das variáveis hidráulicas e energéticas de bombeamento com alimentação fotovoltaica

	Volume (Lt)	Energ (Wh)	hef (h)	Rad (W/m ²)	Q1 (Lt/dia)	Q2 (Lt/h)
Abr.06	37682	5246	167	588	1345	225
Mai.06	34262	4445	168	547	1223	211
Jun.06	30995	4012	162	510	1106	191
Jul.06	30140	3824	180	539	1076	167
Ago.06	36116	5128	167	565	1289	228
Set.06	35435	4970	162	560	1265	218
Out.06	30659	3444	144	538	987	191
Nov.06	33195	3797	156	558	1185	212
Dez.06	19701	2168	139	484	703	141
Jan.07	2089	3002	103	407	59	20
Fev.07	36657	4795	168	578	1202	200
Mar.07	30563	3425	149	541	1091	205

A tabela 2 fornece o resultado do coeficiente R, que relaciona o volume bombeado com a radiação média e do coeficiente K, que relaciona a energia consumida por litro recalado.

Tabela 2 - Coeficientes R e K

	R (Lt/W/m ²)	K (Wh/Lt)
Abr.06	64	0,139
Mai.06	62,6	0,129
Jun.06	60,7	0,129
Jul.06	55,9	0,126
Ago.06	63,9	0,131
Set.06	63,2	0,14
Out.06	56,9	0,124
Nov.06	59,4	0,114
Dez.06	40,7	0,11
Jan.07	5,1	1,43
Fev.07	63,4	0,142
Mar.07	56,4	0,13

A tabela 2 mostra que os coeficientes R e K determinados para cada mês do período do experimento são praticamente constantes. Isso indica haver uma relação direta entre a radiação e o volume bombeado.

Um mês atípico foi o mês de janeiro de 2007, no qual houve um alto índice pluviométrico; Neste mês houve consumo de energia sem recalque de água, pois o painel solar não consegue gerar corrente suficiente para acionar a bomba. A energia é consumida nas bobinas da bomba sem a realização de trabalho.

A avaliação do sistema eólico resultou nas seguintes velocidades médias mensais, expostas na tabela 3.

Tabela 3 - Velocidade do vento no local (m/s)

	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Média mensal
Abr.06	2,1	1,8	2,6	2	2,1
Mai.06	1,9	2,5	2,1	2,3	2,2
Jun.06	1,6	2	1,9	2,3	1,9
Jul.06	1,6	2	1,9	1,4	1,7
Ago.06	2,5	1,7	2,1	2,5	2,2
Set.06	2,8	1,9	2,2	3,1	2,5
Out.06	1,8	2,1	3	2,2	2,2
Nov.06	3,2	2,5	2,2	2,3	2,5
Dez.06	1,8	2,5	1,6	2,2	2,2
Jan.07	1,9	2,3	2,3	2,2	2,1
Fev.07	2	2,2	1,9	2,4	2,1
Mar.07	2,1	2,4	2,5	2,5	2,3

Os resultados da velocidade do vento demonstram que a média mensal ficou abaixo de 3m/s, que é a velocidade mínima recomendada pelo fabricante para início de giro do aerogerador utilizado. Portanto, o balanço entre a energia fornecida e recebida pela bateria que deve acionar a bomba hidráulica é desfavorável ao uso no sistema, observado nos testes executados na montagem.

4 CONCLUSÕES

O trabalho demonstrou que a aplicação da automação em conjunto com sistemas de energia renovável é uma opção viável e interessante para se obter ganhos de qualidade e eficiência; principalmente ajudar a pessoas que habitam lugares mais afastados desprovidos de energia convencional. A aplicação do CLP para controle de sistemas híbridos é uma possibilidade que se mostrou adequada devido a sua versatilidade e confiabilidade operacional. Por sua vez, o acionamento de sistemas de bombeamento através de painel solar demonstrou eficiência em quase todos os meses, com vazões significativas. Seu uso, principalmente nos meses considerados secos é recomendado. A não utilização de baterias é um fator importante, pois reduz o custo de manutenção. Os modelos determinados mostram uma relação linear, mas, por envolverem fenômenos meteorológicos, devem ser confirmados por outros experimentos. O sistema de geração eólico utilizado no trabalho não é adequado para a aplicação no local do teste, devendo optar-se por sistemas mais eficientes.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim pela orientação neste trabalho e à FCA pela oportunidade. Agradeço, também, ao técnico em eletrônica Wesley Galiotti pela inestimável ajuda.

6 REFERÊNCIAS

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia eólica: princípios e aplicações**. Rio de Janeiro. 17 p. Disponível em: < HTTP\\www.cresesb.cepel.br/tutoria/tutorial_eolica.pdf > Acesso em 8. nov. 2005.

GREEN, M, A. Progress and outlook for high-efficiency crystalline solar cells. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, Londres, v. 65, p. 9-16, 2001.

ISLAM,M.Q.et al. Application of wind energy for irrigation in Bangladesh. **Agricultural Mecanization in Asia, Africa and Latin America**, Dhaka,v. 26, n. 2, p. 24-28, 1995.

LORENZO, E. **Eletricidade solar**: ingenieria de los sistemas fotovoltaicos. Espanha: Artes Gráficas Galas, 1994. 338 p.

LOXOM, E. ; DURONGKAVEROJ, P. Estimating the performance of a photovoltaic pumping system. **Solar Energy**, Oxford, v. 52, n. 2, p. 215-219, 1994.

MARTINS, D. O. Comportamento dos ventos na região de Botucatu – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. P. 815-825.

NATALE, F. **Automação industrial**. São Paulo: Érica, 1995. 312 p.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 2002. 358 p.

SILVA, C. D. **Avaliação do potencial das energias solar e eólica para acionamento de pequenos sistemas de bombeamento na fazenda Lageado**. 2000. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

THOMAS, M.G. **Water pumping**: the solar alternative. Albuquerque: Center Fotovoltaic Systems Design, 1987. 67 p.