

PROCEDIMENTOS PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS COM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO EM BANCADA DE TESTE

Maria Cristina Fedrizzi – fedrizzi@iee.usp.br
Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia
Alaan Ubaiara Brito – alaan.ubaiara@iepa.ap.gov.br
Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, IEPA
Roberto Zilles – zilles@iee.usp.br
Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia

4.4 Outros instrumentos de medição

Resumo. *O dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água envolve parâmetros como a demanda diária de água (m^3/dia) - incluindo a capacidade de armazenamento de água, a disponibilidade do recurso solar local ($kWh/m^2.dia$) e a altura manométrica total (mca). No entanto, a experiência tem demonstrado que, apesar de um bom dimensionamento, nem sempre os sistemas instalados apresentam o desempenho esperado, conforme as características disponibilizadas nos catálogos comerciais. Esta realidade faz com que se recomende a realização de testes de desempenho dos módulos fotovoltaicos e das moto-bombas, antes de sua instalação em campo. Com relação aos módulos fotovoltaicos, existem procedimentos para a realização de ensaios bem consolidados, pelo que não trataremos aqui. Este artigo apresenta uma proposta de procedimento para a realização de ensaios de moto-bombas, em bancada de ensaio idealizada no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, e propõe alguns critérios de aceitação.*

Palavras-chave: *Energia solar, Bombeamento fotovoltaico, Bancada de ensaio.*

1. INTRODUÇÃO

A opção fotovoltaica para o bombeamento de água possui grande confiabilidade técnica e apresenta um panorama de crescimento promissor, tendo como previsão para o ano 2010 de cerca de 150.000 sistemas instalados no mundo todo (Epia, 1996). O Brasil, por deter um território extenso com grande contingente populacional localizado em regiões remotas e sem acesso a rede elétrica convencional e por contar com boa incidência de irradiação solar em toda sua extensão, apresenta um grande potencial de crescimento desta tecnologia.

No entanto, apesar de se visualizar um panorama promissor de crescimento, uma análise minuciosa da situação de projetos no campo revela a ocorrência de inúmeros problemas que podem comprometer sua difusão. Constata-se que grande parte dos problemas não ocorre com o equipamento estritamente solar, o gerador fotovoltaico, mas com outros elementos do sistema de abastecimento de água (Malbranch et al., 1994; Fedrizzi, 2003). Para exemplificar, no levantamento da situação de 801 sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados no Brasil, foram registradas 337 ocorrências, sendo que 57% das avarias ocorreram com os grupos moto-bomba, 41% com os equipamentos de condicionamento de potência e apenas 2% com os módulos fotovoltaicos (Bezerra, 2002).

Além dos problemas que ocorrem com os equipamentos, é usual que os sistemas de bombeamento apresentem em campo uma capacidade de fornecimento de água inferior às encontradas nos catálogos comerciais (Fedrizzi et al., 2004). Esta constatação mostra a necessidade

de um maior controle de qualidade na aquisição desse tipo de equipamento. Para tanto, são recomendados testes de desempenho dos equipamentos, especialmente quando o empreendimento requerer alto grau de confiabilidade como é o caso do bombeamento de água para consumo humano. Neste sentido, este trabalho oferece uma proposta de procedimento para a averiguação operacional de sistemas de bombeamento fotovoltaico. Os dados aqui apresentados foram obtidos na bancada de ensaio de moto-bombas desenvolvida no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos, do Instituto de Eletrotécnica e Energia, da Universidade de São Paulo (Brito, 2006).

2. BANCADA DE ENSAIO DE BOMBAS

A bancada de ensaio proposta permite realizar um diagnóstico completo de qualquer tipo de sistema de bombeamento fotovoltaico. É possível determinar a eficiência do dispositivo de condicionamento de potência mais moto-bomba, obter a curva de capacidade instantânea (vazão x potência cc), a potência de arranque da moto-bomba (W), a altura manométrica total (mca) e o volume diário bombeado (m^3/dia), além de possibilitar a elaboração de ábacos que facilitem o dimensionamento de sistemas de bombeamento e a escolha da moto-bomba. A bancada é útil, também, para a determinação do melhor arranjo entre moto-bomba convencional e conversor de frequência (Brito e Zilles, 2006).

Em decorrência das características intrínsecas do sistema de bombeamento solar fotovoltaico¹, a potência que chega ao sistema é variável e acompanha as flutuações da irradiância (W/m^2), conforme ilustra a Fig. 1. Esta situação requer a adoção de instrumentação e procedimentos que mantenham a altura manométrica total estável ao longo do ensaio.

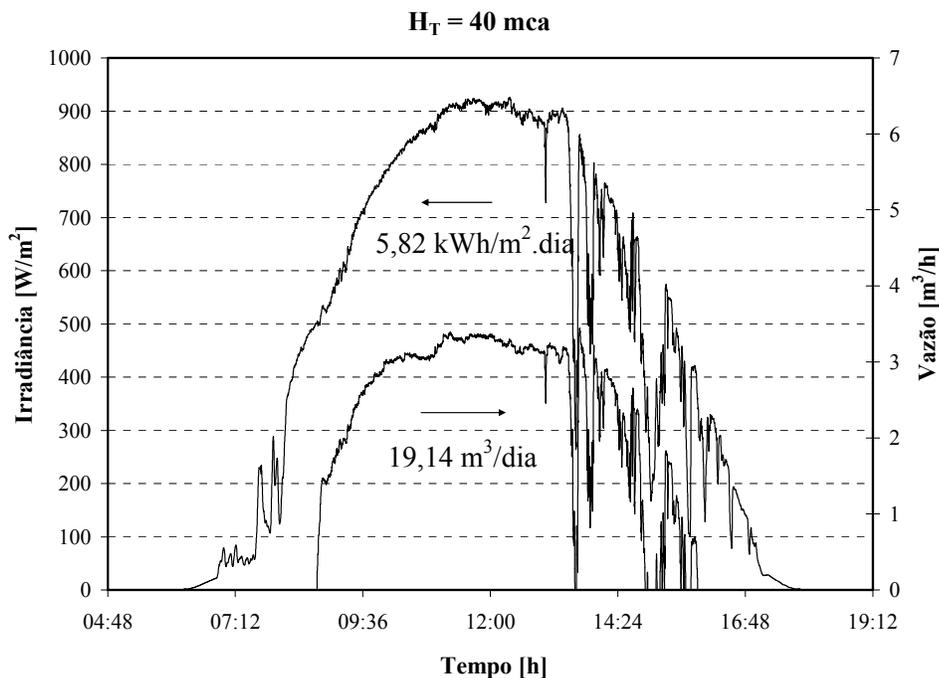


Figura 1 - Volume bombeado em função da irradiância em um turno de bombeamento, para uma altura manométrica de 40 mca.

A bancada de ensaio (Fig. 2) funciona com duas bombas submersas em um mesmo reservatório, que trabalham confrontadas uma com a outra. O funcionamento ocorre da seguinte

¹ Sem a utilização de baterias.

forma: a medida em que a bomba que está sendo testada aumenta sua capacidade de bombeamento, devido ao aumento da irradiância, aumenta também a pressão na tubulação; para a estabilização da pressão interna, a bomba que regula a pressão reduz sua capacidade de bombeamento proporcionalmente. Da mesma forma, quando a bomba que está sendo testada reduzir sua capacidade de bombeamento, em função da redução da irradiância, a bomba reguladora de pressão aumenta sua capacidade de bombeamento, de forma a manter a pressão estável em torno do valor estabelecido para o ensaio.

O reservatório contém uma divisória onde, num dos compartimentos encontra-se a bomba a ser testada e no outro a bomba reguladora da pressão e a tubulação de saída da água bombeada. A divisória tem a finalidade de evitar possíveis interferências sobre a bomba a ser testada, por bolhas de ar formadas pela turbulência da descarga da água bombeada. Na saída de cada bomba instala-se um rotâmetro que permite a leitura da vazão instantânea de cada uma delas e, a continuação dos rotômetros, no final da tubulação, há uma chave de acionamento manual que permite o ajuste inicial da pressão de trabalho.

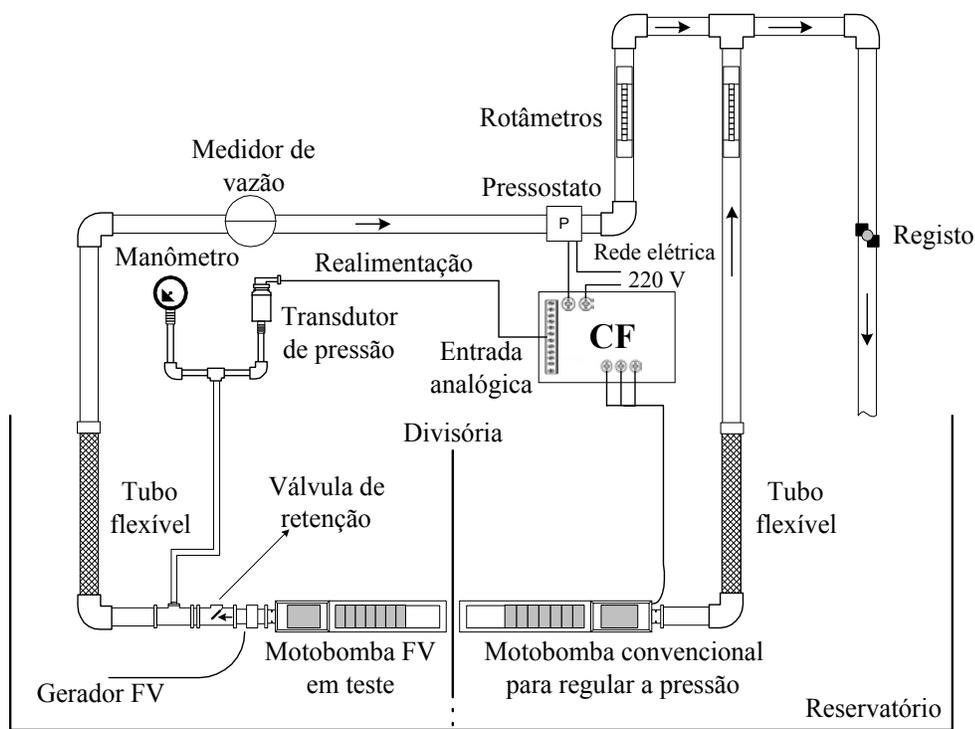


Figura 2 - Diagrama esquemático da bancada de ensaio de bombas.

O controle da bomba que regula a pressão é realizado por um conversor de frequência que possui internamente um controlador proporcional integral derivativo (PID). O sinal de realimentação é fornecido por um transdutor de pressão instalado na saída da bomba a ser testada, obtendo-se assim, um sistema em malha fechada. Logicamente, a bancada de ensaio conta com um sistema de monitoração e aquisição de dados onde cinco variáveis são monitoradas, irradiância, tensão e corrente do gerador fotovoltaico ou da fonte cc, pressão de operação do sistema e vazão da moto-bomba. (Brito e Zilles, 2006).

A Fig. 3 apresenta a estabilidade da altura manométrica em um ensaio na bancada proposta, ao longo de um dia de bombeamento. Observa-se que a altura manométrica do sistema se manteve estável, com uma variação de menos de um metro de coluna de água, para mais e para menos, valor perfeitamente aceitável para o grau de precisão requerido neste tipo de avaliação.

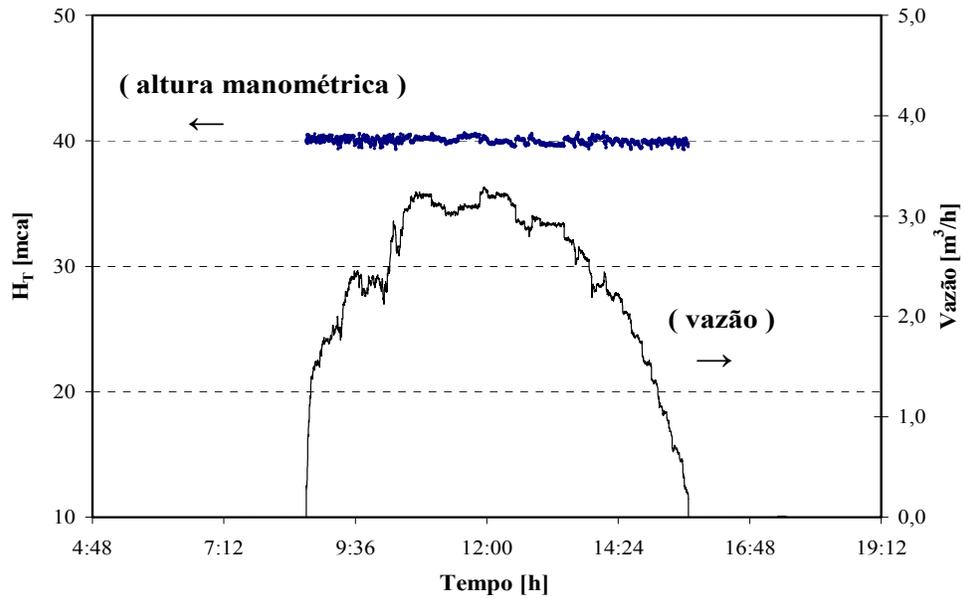


Figura 3 - Estabilidade da altura manométrica ao longo de um dia de bombeamento.

Outras possibilidades de obtenção de dados de desempenho do sistema de bombeamento são apresentadas, como é o caso da curva de eficiência do sistema moto-bomba mais o dispositivo de condicionamento de potência, Fig. 4; a vazão em função da potência, Fig. 5; e variação da tensão de trabalho ao longo de um dia de bombeamento, Fig. 6.

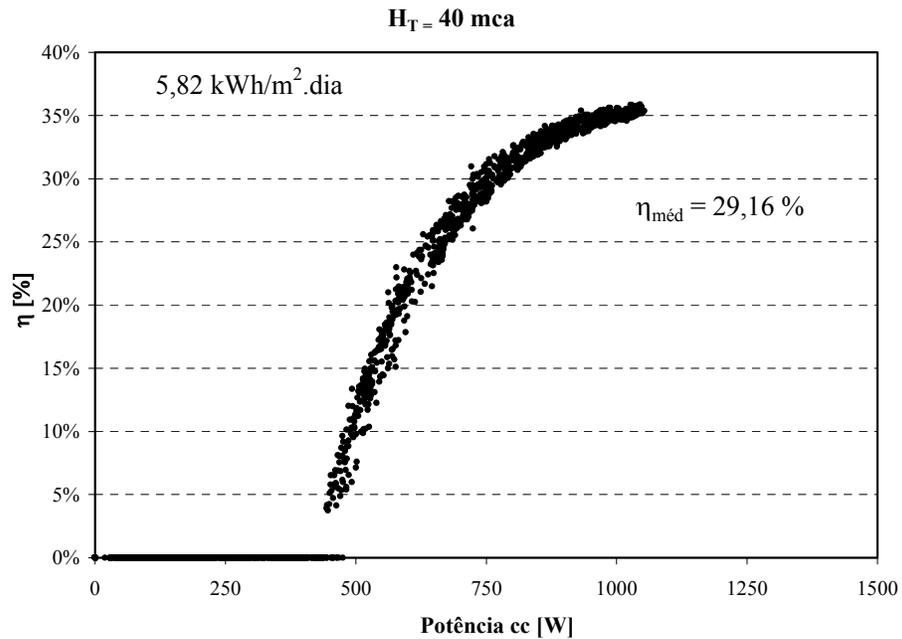


Figura 4 - Curva de eficiência da moto-bomba mais condicionamento de potência para um sistema de bombeamento.

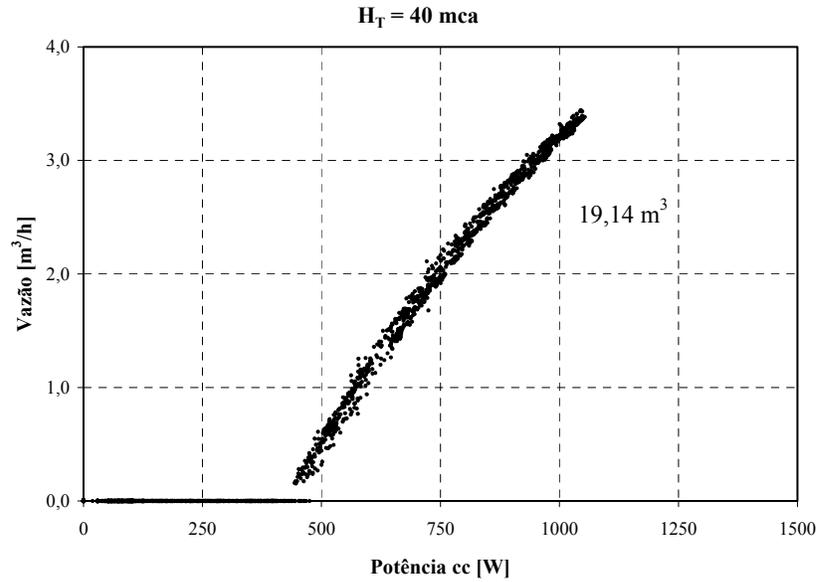


Figura 5 - Curva vazão x potência.

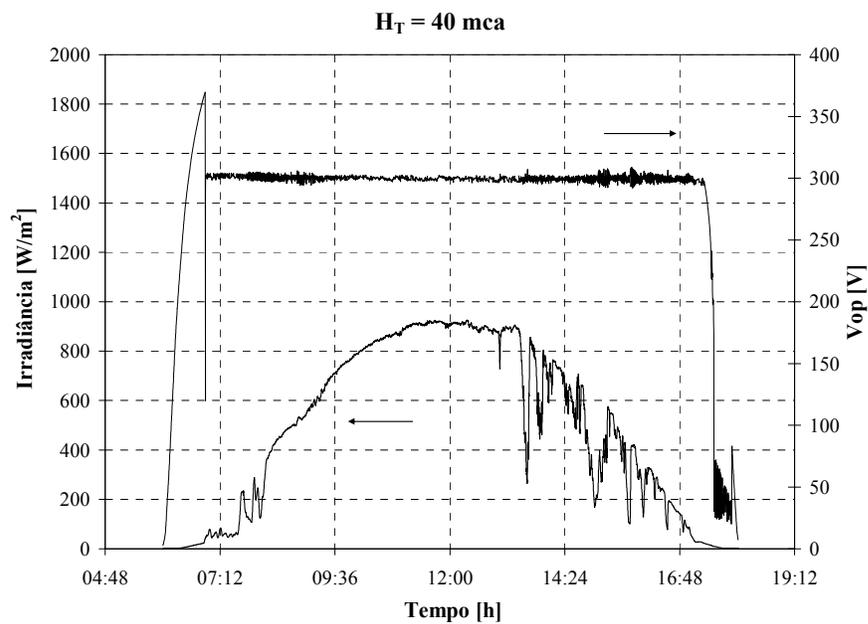


Figura 6 - Variação da tensão de trabalho ao longo de um turno de bombeamento.

3. CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO

Uma vez realizados os testes de desempenho operacional de um sistema de bombeamento fotovoltaico (Brito et al, 2006), sugere-se a observação de alguns critérios de aceitação baseados em nossa experiência em ensaios de bombas, cujas características são apresentadas a seguir.

Para fins de aceitação, o teste deve ser realizado em dias com irradiação solar superior a 80% do valor de irradiação solar diária de referência indicado nas especificações para o dimensionamento do sistema em determinada localidade, devendo o volume obtido nessas

condições ser corrigido para a condição de irradiação de referência, de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{dcor} = \frac{Q_{dmed} \cdot IG_{ref}}{IG_{med}} \quad (1)$$

Sendo Q_{dcor} a vazão diária corrigida para as condições de referência (m^3/dia); Q_{dmed} , a vazão diária obtida no teste (m^3/dia); IG_{ref} , a irradiação diária de referência especificada na etapa inicial do projeto ($kWh/m^2.dia$); e IG_{med} , a irradiação diária obtida no ensaio ($kWh/m^2.dia$). A vazão diária de água bombeada corrigida, Q_{dcor} , deverá ser igual ou superior a 0,90 do valor previsto nas especificações para dimensionamento do projeto, Q_{dpro} .

Dado que as condições para a consideração do teste operacional exigem que a irradiação solar diária seja superior a 80 % do valor de irradiação solar diária de referência – excluindo-se medidas em dias com excessiva contribuição da irradiação difusa, aliado a equação de correção 1 – sistemas com valores de Q_{dcor} inferiores a 0,90 não devem ser aceitos.

Para exemplificar a aplicação do teste operacional, considera-se um sistema de bombeamento fotovoltaico com as seguintes especificações: moto-bomba centrífuga com capacidade de bombeamento de $20 m^3/dia$, a uma altura manométrica de 40 mca, considerando-se uma irradiação solar diária de referência na especificação para dimensionamento de $6,0 kWh/m^2.dia$, com uma potência instalada de $1.369 Wp^2$ em módulos fotovoltaicos.

O teste operacional é aplicado segundo as condições impostas pela climatologia do local da bancada. Para a realização do teste operacional, são considerados dias válidos quando a irradiação diária é igual ou superior a 80% da irradiação diária de referência, IG_{ref} . Nas Figs. 7 a 10, pode-se observar o comportamento da irradiância e da vazão em cada um dos dias considerados, além da irradiação diária e do volume bombeado naquele turno de bombeamento. A Tab. 1 apresenta os resultados obtidos para quatro dias de monitoramento.

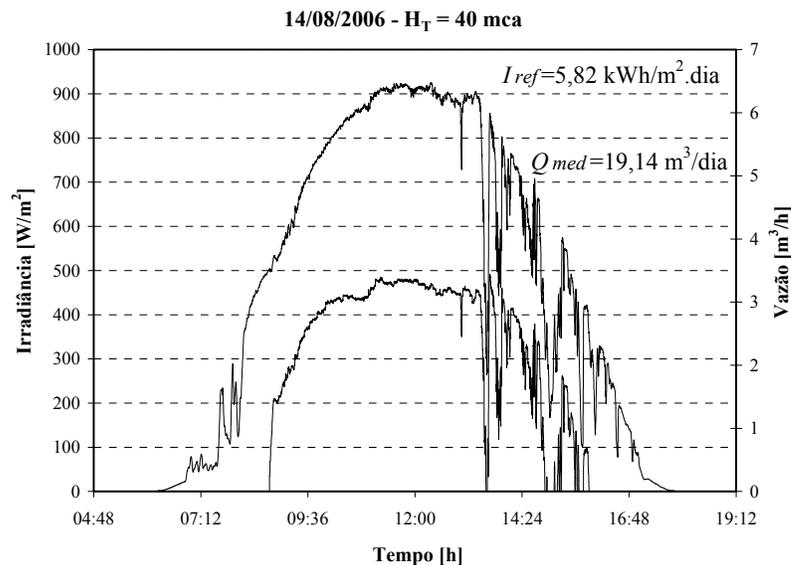


Figura 7 - Irradiância solar e vazão para o dia 14/08/2006.

² Gerador medido com carga capacitiva (Caamaño et al, 1999).

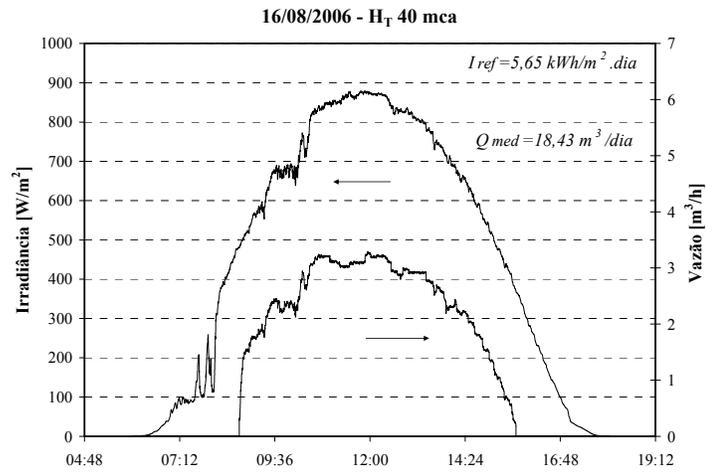


Figura 8 - Irradiância solar e vazão para o dia 16/08/2006.

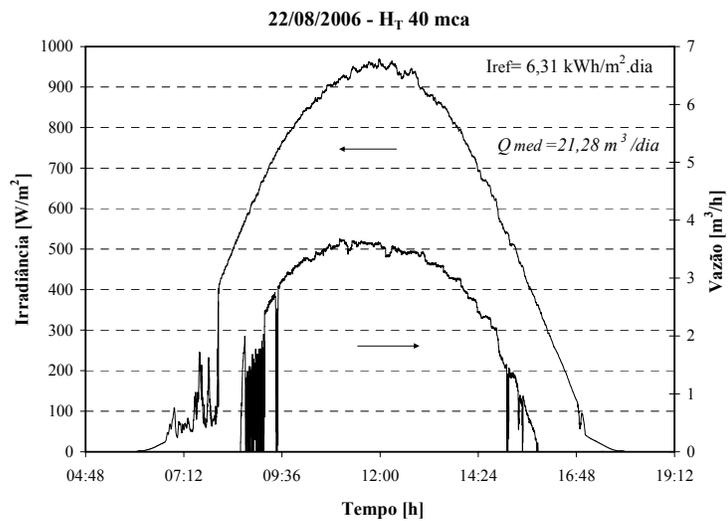


Figura 9 - Irradiância solar e vazão para o dia 22/08/2006.

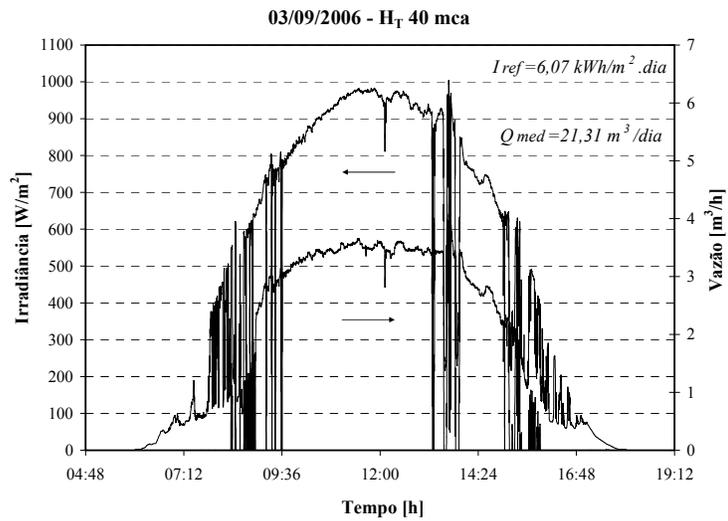


Figura 10 - Irradiância solar e vazão para o dia 03/09/2006.

Tabela 1. Valores da irradiação solar diária medida ($I_{\beta med}$), percentual da irradiação difusa (ID_0/IG_0), do volume diário obtido no teste (Q_{dmed}), do volume diário corrigido às condições de referência (Q_{dcor}) e percentual da vazão diária de projeto ($\%Q_{dpro}$).

Dia	$I_{\beta med}$ (kWh/m ² .dia)	ID_0/IG_0 (%)	Q_{dmed} (m ³)	Q_{dcor} (m ³)	$(\%Q_{dpro})$
14/08/06	5,8	20	19,1	19,4	98,5
16/08/06	5,7	23	18,4	19,5	97,5
22/08/06	6,3	16	21,3	20,2	101,1
03/09/06	6,1	26	21,3	21,1	105,5

No teste operacional constatou-se que para todos os casos, o volume bombeado satisfaz a condição de aceitação de $Q_{dcor} \geq 0,90.Q_{dpro}$.

CONCLUSÃO

O trabalho apresenta uma instrumentação básica para a realização de ensaio de bombas, uma metodologia desenvolvida para a realização dos ensaios para sistemas fotovoltaicos de bombeamento e, ainda, propõe critério de aceitação dos ensaios. Este critério fundamenta-se nas contribuições experimentais obtidas, contudo, sua validação merece um estudo aprofundado que inclua na condição para consideração do teste operacional um limite para a proporção de irradiação difusa.

Constata-se que são ensaios de fácil realização e que podem representar uma ferramenta importante no controle de qualidade de sistemas de bombeamento fotovoltaicos e, conseqüentemente, contribuir no incremento da confiabilidade desse tipo de empreendimento.

Agradecimentos

Este trabalho foi possível graças ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP. Sua continuidade conta com o apoio da PETROBRÁS/IBIRITERMO – projeto P&D/ANEEL.

REFERÊNCIAS

- Bezerra P. 2002. Bombeamento de água fotovoltaico – problemas na implementação de um programa de utilização ampla: PRODEEM; VIII Seminário Ibero-Americano de Energia Solar – Abastecimento de Água em Áreas Rurais Mediante Bombeamento Fotovoltaico, Recife.
- Brito, A U, Zilles, 2006. R. Systematized Procedure for Parameter Characterization of a Variable-speed Drive Used in Photovoltaic Pumping Applications, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol.14, n. 3, pp.249-260.
- Brito, A U. 2006. Otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de controladores de frequência comerciais para acionar bombas centrífugas, Tese apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Brito A U, Fedrizzi M C, Zilles R. 2006. Bancada de ensaio para averiguação operacional de sistemas fotovoltaicos de bombeamento, AGRENER 2006, Campinas.
- Caamaño, E, Lorenzo, E, Zilles R, 1999. Quality Control of Wide Collections of PV Modules: Lessons Learned from the IES Experience, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 7, n. 2, pp. 137-149.
- Epia. 1996. Photovoltaics in 2010, Commission of the European Communities – Directorate General for Energy, Summary Report.
- Fedrizzi, M C. 2003. *Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições aprendidas e procedimentos para potencializar sua difusão*, Tese apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Fedrizzi M C, Brito A U, Zilles R. 2004. Procedimento para averiguação operacional de sistemas fotovoltaicos de bombeamento, AGRENER 2004, Campinas, 1-8.
- Malbranch P, et al. 1994. Recent developments in PV pumping applications and research in the European Community, 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdã; Holanda, 476-481.

PROCEDURES TO REALIZE TESTS WITH PV PUMPING SYSTEMS IN A TEST FACILITIE

Abstract. *The sizing of PV pumping systems involves parameters as the daily water demand of (m^3/day) - including the capacity of storage of water, the local solar irradiation data ($kWh/m^2.day$) and the total head (m). However, the experience has been demonstrating that, in spite of a good sizing, not always the installed systems present the expected acting, according to the commercial catalogs. This reality show de necessity to realize performance tests with PV modules and pumping, before its installation in field. Related to the PV modules, procedures already exist and we will not treat it. This article presents a procedure to realize PV pumping tests in the test facilities of the Institute of Eletrotécnica e Energia of the University of São Paulo, and some parameters to accept the tests.*

Key words: *solar energy, PV pumping, test facilities.*