

## USO DO CONVERSOR DE FREQUÊNCIA COMO DISPOSITIVO DE CONDICIONAMENTO DE POTÊNCIA EM SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEAMENTO

**Alaan Ubaiara Brito** – [alaan.ubaiara@iepa.ap.gov.br](mailto:alaan.ubaiara@iepa.ap.gov.br)

Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, IEPA

**Maria Cristina Fedrizzi** – [fedrizzi@iee.usp.br](mailto:fedrizzi@iee.usp.br)

**Roberto Zilles** – [zilles@iee.usp.br](mailto:zilles@iee.usp.br)

Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia

### 3.5 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos e Híbridos

**Resumo.** *Este trabalho apresenta os resultados obtidos no monitoramento de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água que utiliza como dispositivo de condicionamento de potência um conversor de frequência para acionamento de uma moto-bomba centrífuga, ambos de fabricação nacional. O sistema foi instalado em um assentamento agrícola do Instituto de Terras do Estado de São Paulo (ITESP) localizado no município de Presidente Bernardes, São Paulo. Sua operação teve início em novembro de 2005. O sistema foi monitorado até junho de 2006, fornecendo em média 15 m<sup>3</sup> de água por dia. Com o resultado da operação do protótipo foi possível constatar que o sistema é mais confiável em termos de manutenção que um sistema fotovoltaico de bombeamento constituído por componentes de condicionamento de potência importados.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Bombeamento Fotovoltaico, Conversor de Frequência.*

## 1. INTRODUÇÃO

O inversor ou conversor de frequência é um equipamento eletrônico que permite obter potência com tensão e frequência variáveis (Azcárraga, 1998). Esse equipamento se tornou uma excelente opção técnica e econômica para controle de velocidade de motores elétricos de corrente alternada (ca), particularmente para o motor de indução trifásico. Controlar a velocidade de um motor de indução trifásico tem como principal objetivo a conservação de energia, pois, ao diminuir a rotação do motor através de um Conversor de Frequência, a potência consumida cai na mesma proporção que a rotação, ou seja, em 50 % da rotação a potência consumida é de 50 %, ou até menor, dependendo do tipo de carga acionada (WEG, 2003).

O Conversor de Frequência possui um circuito de potência que é constituído por um circuito retificador, que alimenta (através de um circuito intermediário chamado *barramento cc*) o seu circuito de saída (Capelli, 2002). Esta funcionalidade de retificar a tensão de alimentação permite que este dispositivo seja acoplado diretamente a uma fonte de corrente contínua como, por exemplo, um gerador fotovoltaico.

No que diz respeito à aplicação fotovoltaica, o Conversor de Frequência pode ser utilizado em substituição aos tradicionais equipamentos de condicionamento de potência de um sistema de bombeamento água proporcionando o uso de moto-bombas convencionais, ou seja, com o Conversor de Frequência é possível formar uma configuração de sistema de bombeamento fotovoltaico onde, com exceção dos módulos fotovoltaicos, todos os componentes do sistema podem ser facilmente encontrados no mercado local da maioria das cidades brasileiras.

No entanto, para que o Conversor de Frequência possa ser utilizado neste tipo de aplicação, é necessário que ele possua o controlador proporcional integral incorporado ao seu circuito (Brito & Zilles, 2006). Este dispositivo permite realizar a tarefa de variar automaticamente,

proporcionalmente a irradiância, a relação  $V/f$  da forma de onda de alimentação da motobomba. Dessa forma, se a potência disponível do gerador fotovoltaico, para um determinado nível de irradiância, não for suficiente para manter a moto-bomba funcionando em sua frequência nominal (50 ou 60 Hz), o Conversor de Frequência reduz a relação  $V/f$  para um valor permissível. Isto tem como objetivo manter o torque que a motobomba necessita para continuar operando; porém, neste caso, o volume de água bombeado é inferior àquele quando ela opera em seu ponto nominal.

## **2. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO COM CONVERSOR DE FREQUÊNCIA**

A configuração consiste de um subsistema de geração fotovoltaico conectado diretamente a um Conversor de Frequência alimentando um conjunto motobomba, que pode ser do tipo centrífuga ou de deslocamento positivo. Entretanto, a configuração apresentada neste trabalho refere-se a que faz uso de um conjunto motobomba do tipo centrífuga, como mostra a Fig. 1.

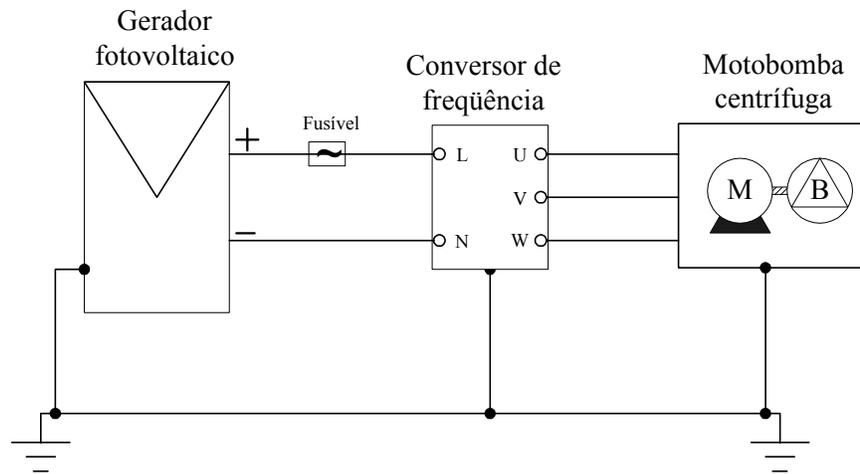


Figura 1 – Bombeamento fotovoltaico utilizando Conversor de Frequência.

Neste tipo de sistema, todo o controle é realizado pelo Conversor de Frequência; logo, é preciso “informá-lo” em que condições de trabalho ele irá operar. Essa tarefa é justamente a sua parametrização. Todos os passos para correta parametrização do Conversor de Frequência estão presentes em (Brito & Zilles, 2006).

### **2.1 Dispositivo de proteção**

Como dispositivo de proteção do sistema está se utilizando relés de nível. Tais equipamentos necessitam de uma fonte de alimentação de 24 Vcc (-15 % +10 %), que pode ser proporcionada por um módulo fotovoltaico com potência suficiente para alimentar os dois relés, que em conjunto demandam um total de 1 W (-15 % +10 %). Outra opção é a utilização de uma bóia de nível para controle do nível do reservatório e apenas um relé para proteção da moto-bomba, caso esta venha a operar em seco. Esta opção pode ser adotada com um módulo de menor potência. O painel de controle, com o esquema de ligação dos relés e demais componentes, é apresentado na Fig. 2.

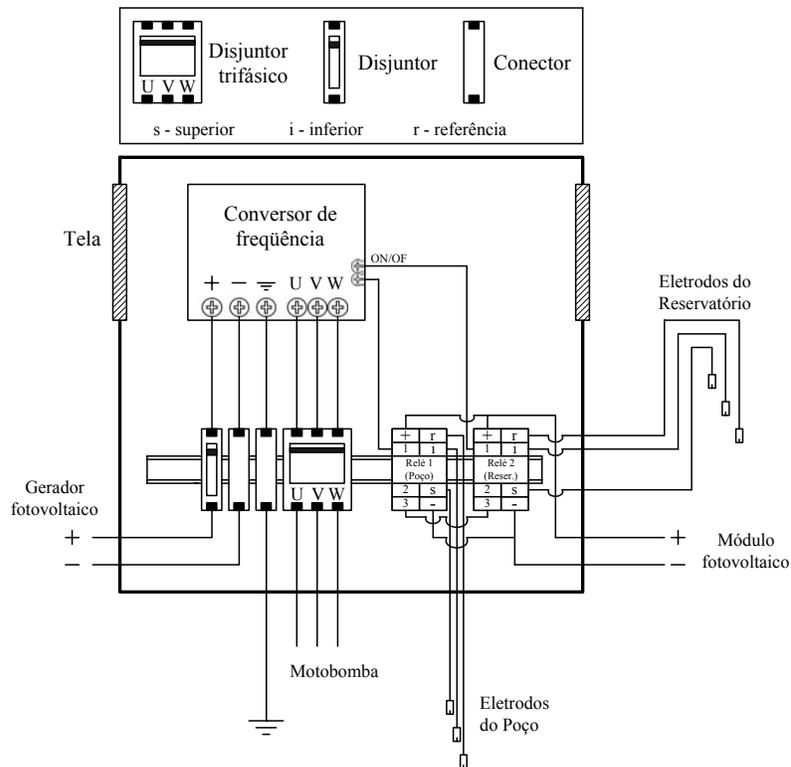


Figura 2 – Painel de controle.

## 2.2 Características do sistema instalado

O sistema encontra-se instalado em um assentamento da Reforma Agrária de nome Palú localizado no município de Presidente Bernardes, SP, às margens da rodovia que comunica as cidades de Presidente Prudente e Mirante do Paranapanema sendo que o mesmo foi dimensionado para fornecer por dia 32 m<sup>3</sup> de água para irradiação diária de 5 kWh/m<sup>2</sup> a 40 m de altura manométrica total. Para esse sistema, os dados do poço são: nível estático de 10 m, nível dinâmico de 42 m, e capacidade do poço de 11 m<sup>3</sup>/h. Na Tab. 1 são apresentadas as características técnicas do sistema.

Tabela 1. Características técnicas do sistema.

Gerador FV	40 módulos KC 80
Configuração	20 série x 2 paralelo
Potência máxima instalada	3.200 Wp
Posicionamento da motobomba	54 m
Reservatório (7,5 m de altura)	7,5 m <sup>3</sup>
Motobomba	BMSAF4007/2-13/2 CV
Disp. cond. de potência	CFW08

A operação do sistema de bombeamento iniciou em 12 de novembro de 2005 e foram monitorados os seguintes parâmetros ao longo de cada dia de funcionamento: tensão (V) e corrente (A) do gerador fotovoltaico, vazão (m<sup>3</sup>/h), irradiação (W/m<sup>2</sup>) e nível do reservatório (m). Com esses dados foi possível fazer um diagnóstico detalhado e identificar as causas dos problemas

ocorridos. Na Fig. 3 estão indicados os pontos onde são obtidos os parâmetros mencionados.

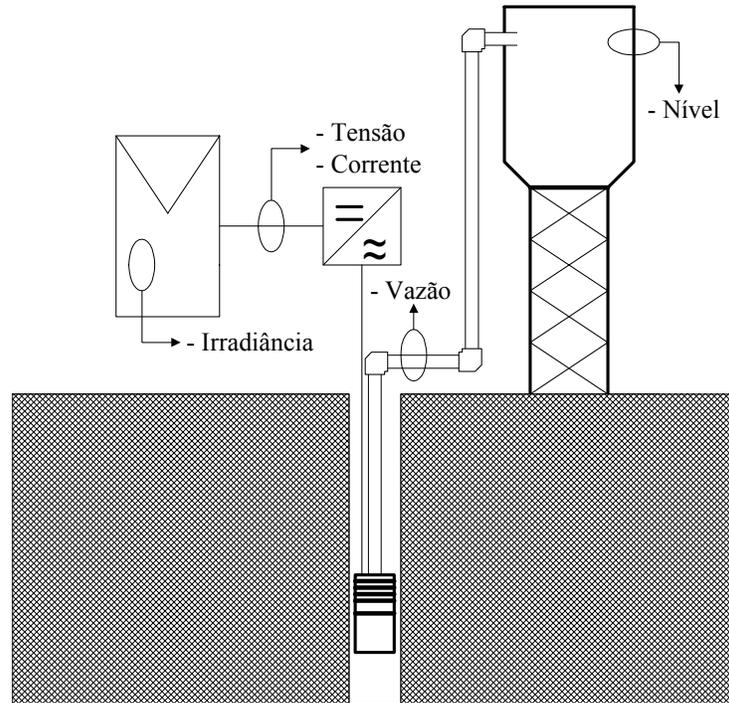


Figura 3 – Indicação das variáveis monitoradas.

### 3. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS EM CAMPO

A análise dos dados obtidos em campo corresponde ao período de 12/11/2005 à 30/06/2006. Nesse período, foram registradas duas falhas de operação – em 19/01/2006 e 30/06/2006. No primeiro caso, o sistema deixou de operar devido a um problema técnico no Conversor de Frequência. O código de erro apresentado refere-se ao módulo dos transistores IGBTs (*Insulation Gate Bipolar Transistor*) em curto-circuito. De acordo com informações presentes no manual de operação do Conversor de Frequência, este problema é decorrente de sobrecorrente na saída do mesmo. As causas mais prováveis são: curto-circuito entre duas fases do motor ou curto-circuito entre uma ou mais fases de saída do Conversor de Frequência com o terra.

No entanto, segundo relatos dos moradores locais, o sistema deixou de operar após ocorrência de uma descarga atmosférica nas proximidades por volta das 16:00 h. Na Fig. 4 está indicado, com um círculo, o momento em que o sistema deixou de operar, às 16:02 h, o que comprovaria o informado. Neste sentido, é possível que esta seja a causa do problema técnico apresentado no Conversor de Frequência, já que a ocorrência de curto-circuito entre duas fases ou destas à terra está descartada.

Na data de 17/03/2006, o Conversor de Frequência foi substituído e o sistema seguiu operando normalmente até 30/06/2006 quando o sistema falhou novamente em virtude de um mau contato entre o cambô de alimentação do gerador fotovoltaico e o Conversor de Frequência. Na data de 13/07/2006 o problema foi solucionado e o sistema segue operando normalmente. É de se ressaltar que, em ambos os casos, o longo período em que o sistema ficou fora de operação deve-se a demora na comunicação do problema ocorrido.

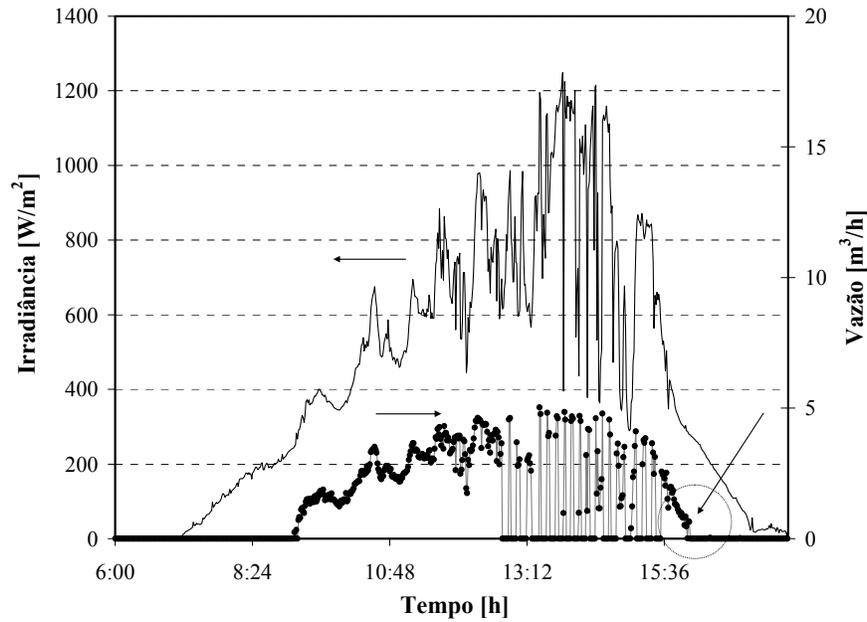


Figura 4 - Variação da irradiância e vazão - 19/01/2006.

Entre os dias 12/11/2005 e 30/06/2006 o sistema forneceu 2.646,27 m<sup>3</sup> de água; o equivalente a 15,12 m<sup>3</sup> por dia. Este volume supre a demanda das famílias por um período de 14 h ininterruptas, assim como observado na Fig. 5, onde se tem a variação do nível do reservatório para três dias consecutivos, 30/11/2005, 01/12/2005 e 02/12/2005.

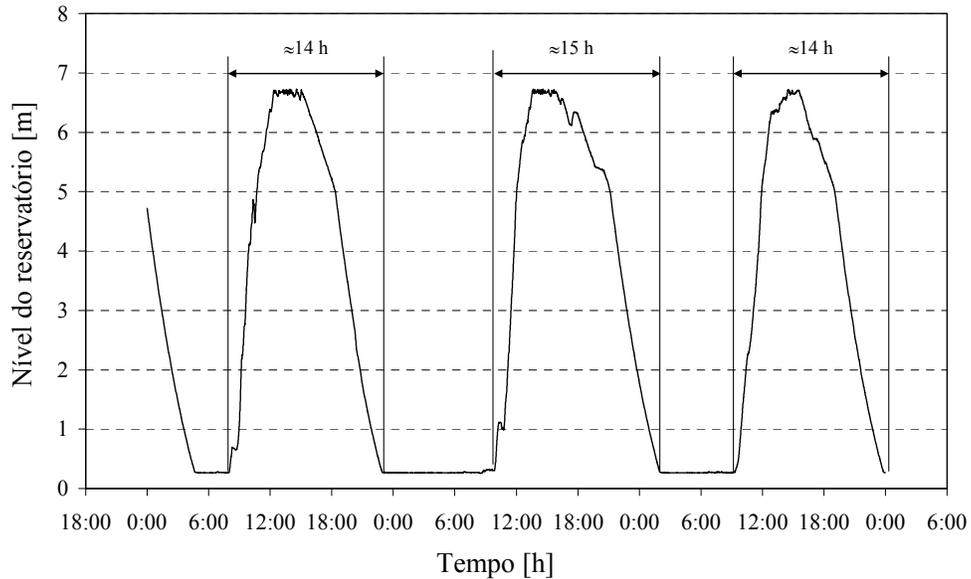


Figura 5 - Variação do nível do reservatório ao longo do dia.

Observa-se que a capacidade máxima do sistema não está sendo usada em sua totalidade, pois o fator de utilização<sup>1</sup> está em torno de 50 %. Isso se deve a capacidade do reservatório, 7,5 m<sup>3</sup>, que é insuficiente para armazenar o volume diário de água produzido pelo sistema, ou seja, o consumo está sendo limitado pelo reservatório. Na Fig. 6, obtida para um dia de céu claro, este fato pode ser observado.

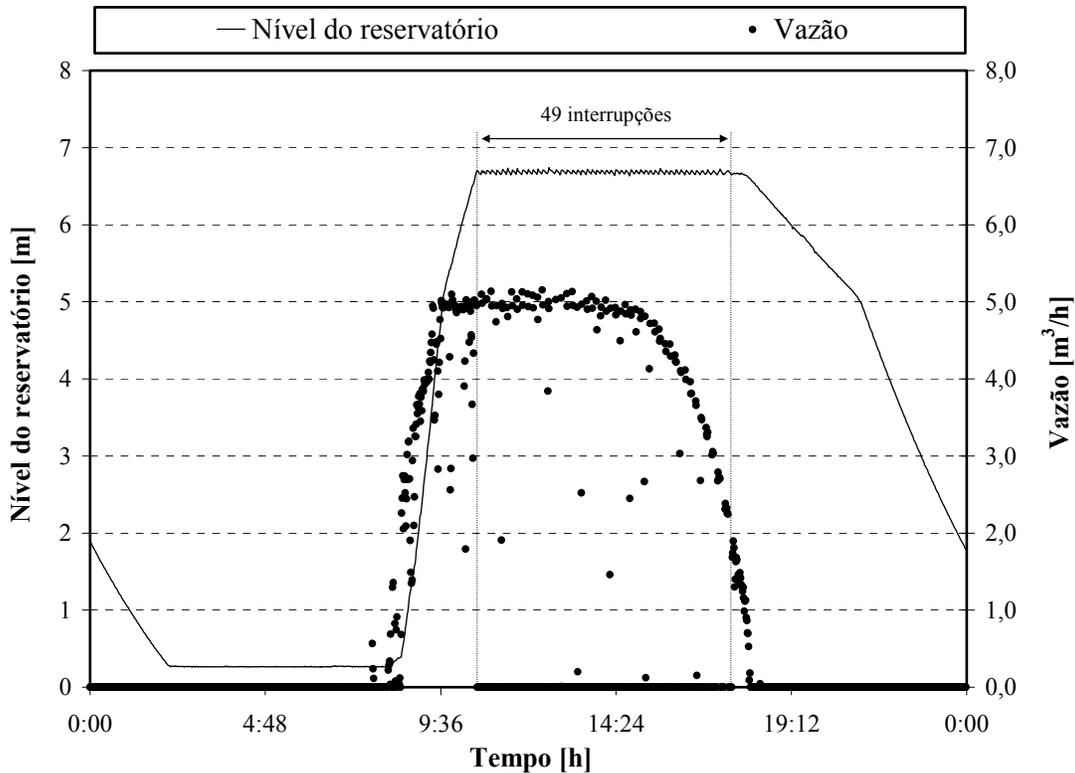


Figura 6 - Limitação da produção de água em função da capacidade máxima do reservatório.

De acordo com a Fig. 6 constata-se que, devido à capacidade limitada do reservatório, o número de interrupções é elevado, 49<sup>2</sup>. Este valor pode ser reduzido aumentando-se o tempo em que o sistema permanece desativado; contudo, tendo em vista que um dos objetivos da pesquisa é avaliar a robustez dos vários componentes do sistema de bombeamento, este segue operando sem nenhuma modificação em seu sistema de controle.

Com a instalação do sistema de bombeamento em campo, foi possível constatar um problema não observado nos ensaios de laboratório. Esse problema aparece com o aumento da distância entre o Conversor de Frequência e o motor, pois a partir de 50 m de comprimento a capacitância dos cabos para o terra aumenta (efeito “linha de transmissão”) podendo atuar a proteção de sobrecorrente, desativando assim o sistema. Para solucionar esse problema têm-se duas alternativas: 1) ligação de uma reatância trifásica de carga em série; 2) reduzir a frequência de chaveamento.

1. A utilização de uma reatância trifásica de carga adiciona uma indutância na saída do Conversor de Frequência para o motor. Com isto, a corrente de fuga que irá aparecer com distâncias grandes entre o motor e o inversor é praticamente eliminada (WEG, 2002).

<sup>1</sup> Fator de utilização é definido como a razão entre a energia hidráulica medida, pela energia hidráulica do sistema caso operasse continuamente.

<sup>2</sup> Tendo como referência o número de acionamentos diários recomendado pelo fabricante para uma motobomba, o qual está em torno de 25 vezes. Contudo, este número se refere a uma motobomba ligada a seu painel de controle, ou seja, frequência fixa e não variável.

2. A redução da frequência de chaveamento reduz as correntes de fuga para o terra, podendo evitar a atuação indevida da proteção de sobrecorrente. Todavia, isto tem como consequência o aumento do ruído acústico do Conversor de Frequência (WEG, 2002).

Dentre as duas opções apresentadas, a segunda é mais conveniente, pois se evita a inclusão de mais um componente no sistema. No caso do protótipo instalado, esta foi a solução adotada.

#### **4. CONCLUSÕES**

Com o monitoramento do sistema foi possível constatar que o uso do Conversor de Frequência, como dispositivo de condicionamento de potência em aplicações de bombeamento fotovoltaico, torna o sistema mais confiável em termos de manutenção. Sua adoção nos novos sistemas a serem instalados e sua instalação nos sistemas adquiridos pelo PRODEEM pode representar um novo cenário para os sistemas fotovoltaicos de bombeamento no Brasil. Nesse novo cenário, os problemas técnicos que costumavam levar muito tempo para serem solucionados, devido a necessidade de importação de moto-bombas e equipamento de condicionamento de potência, podem ser facilmente resolvidos, pois a configuração proposta e testada usa moto-bomba e Conversor de Frequência de fabricação nacional.

#### ***Agradecimentos***

Este trabalho foi elaborado no âmbito do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento P&D IBIRITERMO/PETROBRAS/ANEEL 2974-001/2003.

#### **REFERÊNCIAS**

- Azcárraga, J. M. M., 1998. Convertidores de frecuencia para motores de corriente alterna: Funcionamiento y aplicaciones, McGraw-Hill/Interamericana de España.
- WEG, 2003. Motores: Alto rendimento plus. Weg Automação.
- Brito, A. U. e Zilles, R. 2006. 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.
- Capelli, A., 2002. Inversores de frequência. Mecatrônica Atual, vol.1, n.2, pp 7-15.
- WEG, 2002, Inversor de Frequência CFW08 *Plus* - Manual do Usuário, WEG Automação, São Paulo.

#### **PHOTOVOLTAIC PUMPING SYSTEM WITH VARIABLE SPEED-DRIVE AS POWER CONDITIONING DEVICE**

**Abstract.** This work presents the monitoring results obtained from a photovoltaic pumping system that use as power conditioning device a variable speed-drive and AC centrifugal motor pump, both from national producer. The system was installed in an agricultural establishment of the Instituto de Terras do Estado de São Paulo (ITESP) located in the municipal district of Presidente Bernardes, São Paulo. Its operation starts in November of 2005. The system was continues monitoring until June of 2006, supplying daily around 15 m<sup>3</sup> of water. With the prototype operation results was possible to verify that the system is more reliable in maintenance terms that a photovoltaic pumping system integrated by imported components.

**Key words:** *Solar Energy, Photovoltaic Pumping, Variable speed-drive*