



## ANÁLISE DO ACIONAMENTO DE MOTOBOMBAS ATRAVÉS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

**Tiago Aparecido Vicentin<sup>1</sup>, Odivaldo José Seraphim<sup>2</sup>, José Fernando Presenço<sup>3</sup>, Radames Juliano Halmeman<sup>4</sup> & Arilson José de Oliveira Júnior<sup>5</sup>**

**RESUMO:** A utilização de energia solar fotovoltaica para o bombeamento de água constitui-se numa solução para áreas com disponibilidade de radiação solar e sem o benefício de redes de energia elétrica convencional. Avaliar e caracterizar sistemas de bombeamento hidráulico acionados com energia solar fotovoltaica permite indicar de forma prática qual será o real desempenho do sistema. Esta pesquisa apresenta os resultados de uma avaliação hidroenergética através do uso de índices de desempenho entre dois sistemas de bombeamento que trabalham conectados diretamente em uma central de microgeração de energia solar fotovoltaica que foram instalados nas dependências da Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu-SP. Os índices de desempenho de cada um dos sistemas foram determinados em função de suas características elétricas e hidráulicas, também se verificou a eficiência hidroenergética de cada sistema submetendo-os a diferentes níveis de carga manométrica e monitorando os dados de tensão e corrente demandados pelas motobombas. Cada sistema bombeou em três pressões manométricas de recalque distintos durante o período de 5 dias, os dados necessários para a análise de seu desempenho foram registrados, tratados e analisados. Por meio da análise desses dados foi possível obter os índices de desempenho e assim apontar as principais características de cada sistema avaliado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bombeamento solar, Energia solar fotovoltaica, Bombas d'água, Eficiência hidroenergética.

### ANALYSIS OF WATER PUMPING PHOTOVOLTAIC ACTIVATION

**ABSTRACT:** The application of photovoltaics for water pumping is one solution for environments with high availability of solar irradiation and without the conventional electric power grid benefits. To evaluate and characterize hydraulic pumping activated by photovoltaic solar energy let to indicate of a practical manner what will be the real performance of the system. This survey showed the results of a hydro-energetic evaluation of two systems of pumping using different performance indexes. The systems were directly connected to a microgeneration central of photovoltaic solar energy placed at College of Agronomic Science, UNESP, Botucatu-SP. The performance indexes of each systems was determined according to its electrical and hydraulic characteristics, also the hydro-energetic efficiency of the systems through the distinct levels of manometric charge was verified, regarding the data of tension and current offered by the motor pump. Each system was able to pump three manometric pressures of different repression in a period of five days, the data was stored, processed, and analyzed. Data analysis allowed to obtain the performance indexes and to indicate the mainly characteristics of each system evaluated.

**KEYWORDS:** Solar pumping, Energy Solar photovoltaic, Water pumps, Hydropower efficiency.

<sup>1,2,5</sup> Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências Agrônomicas – Botucatu-SP – Energia na Agricultura. E-mail: [tvicentin08@gmail.com](mailto:tvicentin08@gmail.com), [seraphim@fca.unesp.br](mailto:seraphim@fca.unesp.br), [arilsonjr@outlook.com](mailto:arilsonjr@outlook.com)

<sup>4</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campo Mourão-PR. E-mail: [rjhalmeman@gmail.com](mailto:rjhalmeman@gmail.com)

<sup>3</sup> Faculdade de Tecnologia de Bauru – FATEC – Bauru-SP. E-mail: [fernandopresencao@uol.com.br](mailto:fernandopresencao@uol.com.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Produzir alimentos, prover energia e saneamento são fatores fortemente dependentes da disponibilidade da água no meio. Gerir o uso da água de forma eficiente e sustentável é um desafio, pois depende de questões como desigualdade na distribuição, rápida urbanização, poluição, mudanças climáticas, aumento da demanda mundial e interesses conflitantes que tornam preocupante a questão da água (ONU, 2013). Intrinsecamente conectado à questão da água está a da energia elétrica, pois sem esta não se consegue trabalhar a água com eficiência, o que torna desgastante e arriscado o trabalho no campo levando a perdas de produtividade e em alguns casos grandes prejuízos para o agricultor (VICENTIN, 2014). Segundo Silva & Seraphim (2005) a geração de energia elétrica em áreas rurais isoladas por meio de recursos naturais renováveis disponíveis na propriedade rural promoverá aumento na produção de alimentos, elevação da renda e melhoria na qualidade de vida do homem do campo. Visando esta melhoria, torna-se necessário a instalação de dispositivos usados em regiões mais desenvolvidas, tais como bombas de água, reservatórios ou cisternas, chuveiros, sistemas de irrigação e pontos adequados para consumo que se tornam possíveis com a disponibilidade de energia elétrica na propriedade rural. A energia elétrica gerada por painéis fotovoltaicos é uma solução tecnológica que pode ser aplicada nesse contexto. Segundo Michels (2007), a tecnologia dos painéis fotovoltaicos é aplicada em estações espaciais, satélites de telecomunicação, estações meteorológicas, faróis de sinalização, eletrificação rural, entre outros. Porém, o rendimento de um painel fotovoltaico é baixo, sendo necessário um estudo dirigido para a avaliação de qualquer sistema que utilize a tecnologia de painéis fotovoltaicos. Nem sempre os sistemas instalados apresentam o desempenho esperado indicado nos catálogos comerciais, essa realidade faz com que se recomende a realização de testes de desempenho dos módulos fotovoltaicos e do sistema motobomba (dispositivo de condicionamento de potência mais conjunto motobomba), antes de sua instalação em campo (FEDRIZZI, 2003; NARVARTE; POZA; LORENZO, 2006 apud MELÉNDEZ, 2009). Para um bom desempenho na aplicação da energia solar fotovoltaica para alimentação de sistemas de bombeamento de água é necessário conhecer os parâmetros do potencial solarimétrico do local em kWh/m<sup>2</sup>/dia, os equipamentos que serão alimentados, as características físicas da instalação, tal como, demanda diária de água, m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, e a altura manométrica total em mca. Baseado na premissa de que 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 a capacidade de geração dos módulos fotovoltaicos (SILVA, 2000), o objetivo deste trabalho foi avaliar e caracterizar dois sistemas de bombeamento hidráulico, acionados com energia solar fotovoltaica, que elevaram água de uma cisterna para um reservatório, trabalhando em três pressões manométricas distintas, determinando um índice que baseado nos dados de irradiação incidente na

área do painel, potência elétrica disponível, potência elétrica consumida pelas motobombas e vazão da água bombeada; indicasse qual sistema tem o melhor desempenho hidroenergético nas condições desse experimento.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAL

Localização física: a micro central de geração distribuída fotovoltaica (MGD-FV) está localizada em uma área de pesquisa chamada de Sítio Modelo e localiza-se nas coordenadas: -22° 51' 11.22" Latitude Sul e -48° 25' 49.20" Longitude Oeste, altitude média de 777 metros acima do nível do mar com clima subtropical úmido e temperatura média anual de 22° C; nas proximidades do Departamento de Engenharia Rural da FCA, campus Lageado, na Unesp/Botucatu. A MGD-FV tem por objetivo principal a implantação de infraestruturas de geração distribuída fotovoltaica no Sítio Modelo; que abre inúmeras possibilidades de divulgação, desenvolvimento de pesquisas e tecnologias relacionadas à microgeração de energia elétrica via conversão fotovoltaica para diversas aplicações, alinhando o objetivo do projeto aos objetivos do Sítio Modelo. Essa infraestrutura é utilizada na realização deste experimento.

Sistema hidráulico: cada sistema é composto de uma motobomba, o primeiro sistema denominado SBF1 (Sistema de Bombeamento Fotovoltaico 1) é composto de uma motobomba de diafragma tipo motorrotativa (Vazão de 396 l/h a 35 mca e 792 l/h a 0 mca); o segundo sistema denominado SBF2 (Sistema de Bombeamento Fotovoltaico 2) possui uma motobomba de diafragma tipo motovibratória (Vazão de 150 l/h a 40 mca e 840 l/h a 0 mca). O objetivo dessas motobombas é recalcar água de duas cisternas que acumulavam água de chuva e foram instaladas abaixo do nível do solo (enterradas no solo) com volume total de 5000 Litros cada, para duas caixas d'água localizadas a 120 metros de distancia e a uma altura geométrica de 7 metros, de 5000 Litros cada uma. A tubulação de recalque utilizada em cada um dos sistemas tem diâmetro de 3/4" em PVC, e a tubulação de retorno do reservatório para cisterna é de 1". Nas tubulações de recalque de cada motobomba foram inseridos dois hidrômetros que monitoravam o volume de água que era fornecido por cada sistema de bombeamento fotovoltaico. Também foi colocado um medidor de vazão eletrônico tipo turbina, este consta de um sensor indutivo localizado dentro de uma estrutura que gera os pulsos por volta de um eixo acoplado em um sistema de pás movimentado pela água que passa em seu interior. A frequência de pulsos gerada é convertida em litros de água por minuto pelo programa desenvolvido para essa automação. Para que fosse possível variar a altura manométrica de recalque, um dispositivo composto de um registro de gaveta e um manômetro calibrado em mca (metros de coluna d'água) foi instalado na linha de recalque de cada um dos sistemas de bombeamento fotovoltaico. O retorno da água excedente ocorre por uma tubulação de 1" de diâmetro

ligada na parte superior das caixas elevadas servindo de “ladrao” com o objetivo de manter as caixas cheias, porem, drenando a água que por ventura exceder sua capacidade máxima de volta para as cisternas.

Sistema fotovoltaico: o sistema de energia utilizou ao todo 4 módulos solares de Silício Policristalino 130WP. Esses módulos compunham dois painéis fotovoltaicos de dois módulos por painel, sendo que, dois módulos foram conectados em paralelo para compor o painel do sistema SBF1 em 12 V e outros dois foram conectados em serie para o painel do sistema SBF2 em 24 V; ambos utilizados para a alimentação direta das bombas hidráulicas. O objetivo desses painéis era fornecer energia para as motobombas de forma constante, fazendo-os realizar o trabalho de bombeamento enquanto houvesse a mínima energia solar necessária incidente sobre os painéis. Uma chave boia foi instalada no circuito de comando de cada motobomba visando protegê-las caso o nível da água das cisternas ficasse abaixo do mínimo (o que não ocorreu durante esse experimento), os painéis foram orientados para o norte.

Sistema de aquisição de dados: para a leitura da vazão foram utilizados sensores de vazão tipo turbina efeito hall ½’’ capacidade máxima de 30 l/min, a leitura da pressão de coluna foi feita por manômetros devidamente calibrados em mca. Para a leitura da radiação solar incidente no plano dos painéis foi utilizado um sensor de irradiação modelo (PVS1- Carlo Gavazzi, 65 mV/1000 W.m-2) tal como, o modulo de leituras de variáveis ambientais VMU-P que teve a função de conectar o modulo de leitura PVS1 ao modulo de dados Carlo Gavazzi VMU-C. Para ler os dados de corrente e tensão consumidos pelas motobombas foi utilizado o modulo de leitura de corrente e tensão elétrica (VMU-S- Carlo Gavazzi para medição de tensão de até 1000 (Vcc) e medição de corrente continua direta até 16 (A), medição de variáveis instantâneas: Volts (V), Amperes (A) e Watts (W).). Os componentes a seguir foram utilizados para coleta e gravação dos dados lidos pelos sensores; o equipamento que foi utilizado na leitura de vazão foi baseado no trabalho de Helmeman (2014) e utiliza uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre de placa única, projetada com um Microcontrolador ATmega 328, 14 pinos de entrada/saída digital, 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB, utiliza uma linguagem de programação padrão, a qual tem origem em Wiring, e é essencialmente C/C++ (ARDUINO, 2015), com programação desenvolvida exclusivamente para, processar os dados dos sensores de vazão e envia-los para um microcomputador; o modulo de dados Carlo Gavazzi VMU-C teve como função gerenciar e armazenar a leitura de variáveis dos módulos VMU-S e VMU-P já referenciados acima. Um microcomputador Intel Pentium Dual Core 2.10Ghz, 4 G RAM, 32 Bits foi utilizado para descarregar e tratar os dados que foram colhidos durante o experimento.

## 2.2 MÉTODOS

Os dois sistemas SBF1 e SBF2 executaram a mesma função bombeando água de forma continua enquanto houvesse simultaneamente o mínimo de radiação solar necessária incidente no plano dos módulos de seus respectivos painéis para o acionamento das bombas d’água. Conforme (MOREIRA, 2009; NIEDZIALKOSKI, 2013), para determinar o índice de bombeamento (Ib) o índice de consumo (Ic) e a eficiência media ( $\eta_{mb}$ ) para os dois conjuntos motobombas com uso das Equações (1), (2) e (3) respectivamente; fazia-se necessário conhecer a altura manométrica em mca na qual estão submetidos os conjuntos motobombas, quantificando a energia consumida (Ec) em Wh, o volume em (L) bombeado diariamente (Qd), os valores de vazão em (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>), a tensão (V) e a corrente (A) que alimentaram os conjuntos motobombas. Com esses índices foi possível determinar a resposta pratica de trabalho de bombeamento de cada sistema testado em cada uma das três alturas manométricas, possibilitando assim caracterizá-los para uso em diversos setores de uma propriedade rural nas mesmas condições desse experimento.

Segundo Kolling (2004), o sistema motobomba é mais eficiente quando submetido a cargas mais elevadas, visto que sua eficiência é função da potencia hidráulica que aumenta de forma proporcional ao aumento da carga (altura manométrica), portanto, a eficiência dos sistemas deverá ser menor quando submetidas a baixos valores de carga e apresentará um aumento da eficiência submetido a cargas mais elevadas. O calculo da eficiência serviu como indicador analisado em conjunto com os índices para escolha do sistema mais eficiente.

$$I_b = \left( \frac{Q_d}{E_d} \right) \quad (1)$$

Sendo: Ib o índice de bombeamento (L.KWh<sup>-1</sup>); Qd o volume bombeado por dia (L); Ed a energia disponível (KWh).

$$I_c = \left( \frac{E_d}{Q_d} \right) \quad (2)$$

Sendo: Ic o índice de consumo (KWh.L<sup>-1</sup>); Qd o volume bombeado por dia (L); Ed a energia disponível (KWh).

Cálculo da eficiência conforme Mantovani et al. (2007) Equação (3).

$$\eta_{mb} = \frac{Q \times H_m \times 736}{75 \times U \times I} \quad (3)$$

Em que:  $\eta_{mb}$  é a eficiência da motobomba em (%),  $Q$  é a vazão em ( $m^3h^{-1}$ ),  $H_m$  a altura manométrica em (m),  $U$  a tensão elétrica em (V) e  $I$  a corrente em (A).

A Figura 1 mostra o diagrama de blocos do sistema fotovoltaico de bombeamento tal como a abrangência do índice de bombeamento e das eficiências do sistema.

Altura manométrica de um sistema hidráulico é a soma de sua altura geométrica com as perdas que ocorrem nas tubulações de sucção e recalque, transformadas em

comprimentos equivalentes de linha. A determinação desta variável é de fundamental importância para a seleção de uma bomba hidráulica adequada. Essa grandeza pode ser definida como a quantidade de trabalho necessário para movimentar um fluido, desde uma determinada posição inicial, até a posição final, incluindo nesta “carga” o trabalho necessário para vencer o atrito existente nas tubulações por onde se desloca o fluido. Os sistemas SBF1 e SBF2 foram projetados para a altura manométrica ser variável.

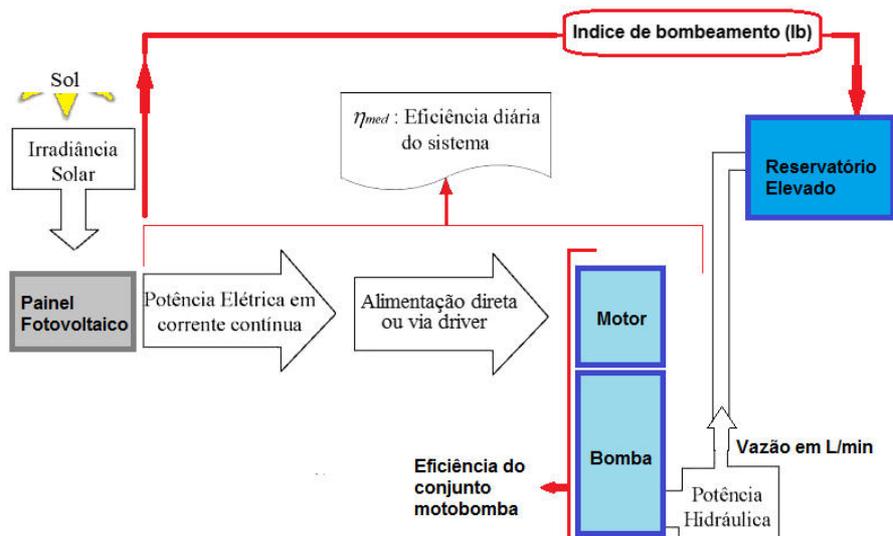


Figura 1 - Diagrama de blocos do sistema fotovoltaico de bombeamento

A variação da altura manométrica se dá pelo alívio na pressão da linha de recalque utilizando de um registro de gaveta. O procedimento para variação da pressão de recalque das duas bombas é idêntico e seu esquema de montagem é representado pela Figura 2.

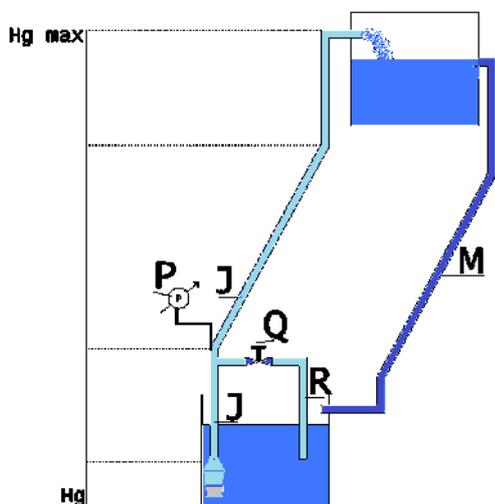


Figura 2 - Representação do esquema de variação da altura manométrica (pressão de recalque)

A válvula de controle “Q” (registro de gaveta  $\frac{3}{4}$ ”) desvia o fluxo de água da tubulação de recalque “J” para a tubulação “R” aliviando a pressão da linha “J”. Para obter a pressão máxima da linha é necessário fechar totalmente a válvula “Q”. Para pressão mínima, média e qualquer outro valor de pressão desejado, à válvula “Q” deverá ser ajustada pelo operador com base na leitura do manômetro “P”. As alturas manométricas de trabalho experimentadas nesse estudo foram 2,5 mca, 7,5 mca e 13,5 mca. O período de experimentação ocorreu em junho de 2014 e foi distribuído de 8 a 12 de junho para a pressão de 2,5 mca, de 19 a 23 de junho para a pressão de 7,5 mca e para a pressão de 13,5 mca do dia 13 ao dia 17 de junho.

A montagem final dos componentes, ligações hidráulicas e seus respectivos componentes instalados em cada um dos sistemas, ficaram conforme ilustrado na Figura 3.

Para obter os dados necessários foram utilizados dois equipamentos de leitura e registro de dados, o primeiro equipamento VMU-C conjunto com seus módulos VMU-S e VMU-P ficaram a cargo da leitura das variáveis de tensão elétrica volts (V); corrente elétrica amperes (A); e irradiância solar em Watts por metro quadrado ( $W.m^2$ ). Um segundo equipamento foi utilizado na leitura de vazão registrou os valores de

vazão em litros por minuto ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) e o volume total em litros (L) que fora bombeado por cada sistema.

Os módulos de geração fotovoltaica foram conectados a um barramento que alimentava cada moto bomba

individualmente. A tensão de trabalho da carga é que definiu o tipo de fechamento dos módulos de geração fotovoltaicos.

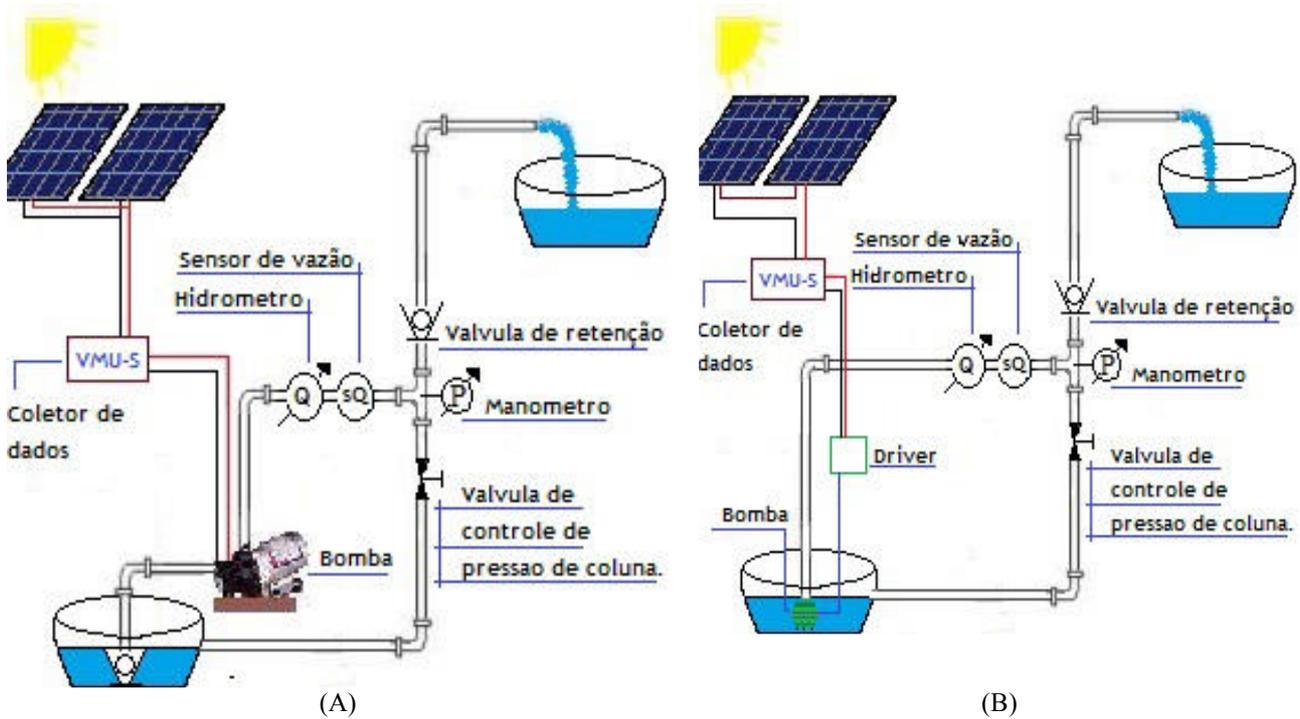


Figura 3 - Ilustração do esquema de conexões das motobombas SBF1 - (A) e SBF2 - (B)

A Figura 4 apresenta o diagrama de ligação dos painéis de alimentação para o sistema avaliado SBF1.

Na Figura 5 é ilustrada a ligação dos painéis de alimentação para o sistema avaliado SBF2.

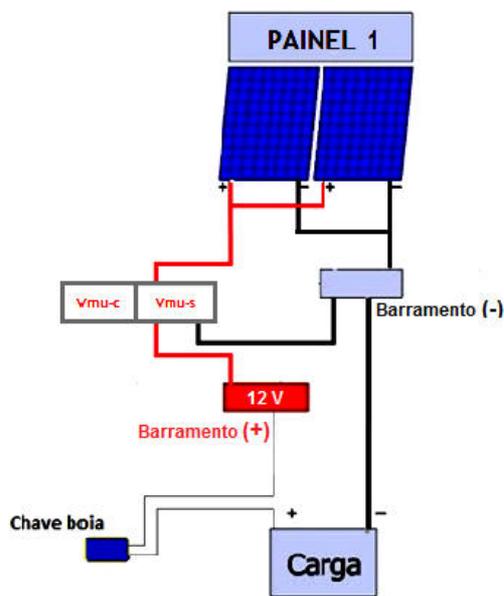


Figura 4 - Conexão elétrica das motobombas SBF1

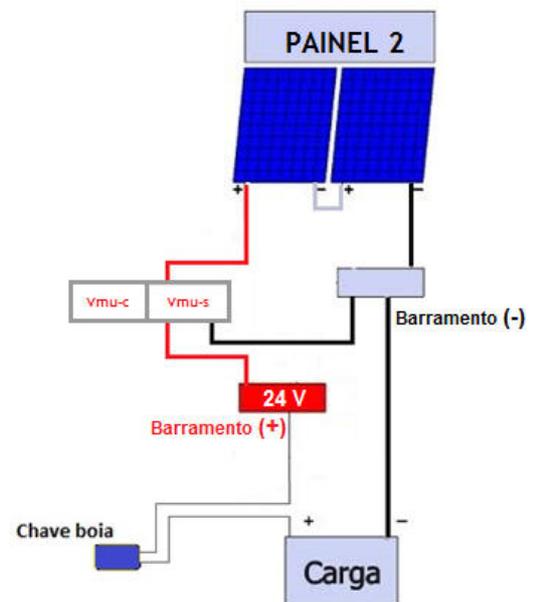


Figura 5 - Conexão elétrica das motobombas SBF2

Para proceder com o cálculo dos índices de bombeamento foi necessário fazer o ajuste de alguns dados; para o volume bombeado em litros (L), diariamente foi registrado os valores de vazão instantânea minuto a minuto e posteriormente calculado o volume total com base na somatória das vazões instantâneas. O fluxo de irradiação total (Rs) medida pelo sensor PVS1 em W.m<sup>2</sup> foi registrado segundo a segundo e transformado em energia disponível (Ed) através das equações 4 e 5 respectivamente. Para o cálculo da energia consumida pelas motobombas foram utilizadas as equações 6 e 7, em que a energia consumida (Ec) é obtida pelo produto da tensão (V) pela corrente elétrica (A) multiplicada pelo tempo (t) em que ocorreu efetivamente recalque de água.

As Equações 4 e 5 mostram a relação do fluxo de irradiação total, energia disponível e tempo.

$$Rt = Rs \times A \quad (4)$$

$$Ed = Rt \times t \quad (5)$$

Em que: *Rt* é a irradiação total em (W), *Rs* a irradiância em (W.m<sup>-2</sup>), *A* a área útil do módulo em (m<sup>2</sup>), *Ed* a energia disponível em (Wh), *Rt* a irradiação total em (W) e *t* o tempo (h).

A relação energia consumida e potência elétrica consumida é apresentada pelas Equações 6 e 7.

$$Pc = V \times I \quad (6)$$

$$Ec = Pc \times t \quad (7)$$

Em que: *Pc* é a potência consumida em watts (W), *V* é a tensão em volts (V), *I* a corrente em amperes (A), *Ec* é a energia consumida em (Wh) e *t* o tempo (h).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume de água bombeado no período do experimento pelos dois sistemas propostos variou na média entre 6249,27 litros a 7792,93 litros para o SBF1 e 5244,21 litros a 9398,29 litros para o sistema SBF2 conforme apresentado na Tabela 1. A altura manométrica de 7,5 mca e 13,5 mca foram capazes de elevar a água até reservatório superior, permitindo que a força potencial gravitacional posteriormente seja utilizada para distribuir a água sem o uso de energia elétrica, seja irrigando, abastecendo um bebedouro de animais, ou uma residência.

**Tabela 1 - Volume de água bombeado por dia no período**

2.5mca	Volume (L) SBF1	Volume (L) SBF2
08/jun	7450.85	9259.13
09/jun	8202.57	9801.27
10/jun	6229.22	7449.81
11/jun	8368.01	10026.04
12/jun	8714.00	10455.22
<b>MÉDIA</b>	7792.93	9398.30
7.5mca		
19/jun	6788.36	6533.62
20/jun	5905.70	6133.57
21/jun	5502.57	5746.69
22/jun	7125.38	6992.91
23/jun	5688.74	5736.07
<b>MÉDIA</b>	6202.15	6228.58
13.5mca		
13/jun	6654.31	5697.42
14/jun	6121.09	5040.31
15/jun	5048.64	4278.56
16/jun	6701.04	5597.90
17/jun	6721.30	5606.86
<b>MÉDIA</b>	6249.28	5244.21

Os índices de bombeamento (Ib), índice de consumo (Ic) e a eficiência média do conjunto motobomba ( $\eta_{mb}$ ) são apresentados na Tabela 2 para as três alturas manométricas experimentadas 2,5mca, 7,5mca e 13,5 mca respectivamente.

**Tabela 2 - Índices de desempenho para bombeamento fotovoltaico**

Altura Manométrica (mca)	2,5	7,5	13,5
Ib (L/KWh) - SBF1	847,28	623,48	592,39
Ib (L/KWh) - SBF2	1020,78	627,43	497,17
Ic (KWh L) - SBF1	0,000914	0,001212	0,00013
Ic (KWh L) - SBF2	0,000838	0,001362	0,00017
$\eta_{mb}$ (%) - SBF1	6,35	15,97	24,42
$\eta_{mb}$ (%) - SBF2	6,91	17,11	16,55

O sistema SBF1 entre 7,5 e 13,5 mca apresenta valores de volume bombeado superiores ou bem aproximados do sistema SBF2. Para a mesma quantidade de energia disponível em 7,5 mca, SBF1 apresentou rendimento 1,14% inferior a SBF2, no entanto, para 13,5 mca seu rendimento em relação a SBF2 foi 7.87% maior. Comparando os valores índice de consumo (Ic) dos dois sistemas em 7,5 e 13,5 mca observa-se nessas condições que SBF1 consome menos energia por litro que SBF2 quando submetida às mesmas condições experimentais.

O sistema SBF2 para a mesma quantidade de energia disponível para os dois sistemas avaliados bombeou na carga de 2,5 mca 173,5 litros a mais por KWh de energia quando comparado a SBF1 conforme indicado pelo Índice de consumo (Ic). Ainda consumiu menos energia por litro bombeado e apresentou uma diferença superior de rendimento em relação a SBF1 de 0.56 %. Em 7,5 mca SBF2 supera SBF1 em 3,95 litros com rendimento de 1,14% a mais quando submetida às mesmas condições experimentais.

#### 4 CONCLUSÃO

✓ Os índices calculados na metodologia mostraram ser uma ferramenta útil quando se deseja avaliar e caracterizar sistemas de bombeamento alimentados por energia solar fotovoltaica, porém, não é possível estimar o volume bombeado em função da irradiância ( $w.m^2$ ) aplicando-o como modelo, isso porque os índices compreendem apenas os valores de energia consumida pelas motobombas não considerando as conversões e as perdas que ocorrem no painel fotovoltaico.

✓ Baseado nesses índices observa-se que nas condições desse experimento o valor mínimo da pressão da linha de recalque, ou seja, 2,5mca; tem-se maior um desempenho do sistema SBF2. Para o valor de pressão máxima 13,5 mca aplicado no teste; tem-se um maior desempenho com o sistema SBF1 e finalmente para a pressão média 7,5 mca tem-se um desempenho bem distribuído entre os dois sistemas onde apresentam uma pequena diferença no volume de água por kWh consumidos.

✓ O sistema SBF1 é mais indicado para trabalhar nos valores de altura manométrica entre 7,5 e 13,5 mca quando submetido às mesmas condições desse experimento.

✓ O sistema SBF2 é mais indicado para valores de altura manométrica entre 2,5 mca e 7,5 mca quando submetido às mesmas condições desse experimento.

✓ O suprimento de água diário disponibilizado por esses dois sistemas no período do experimento, segundo Tiago Filho (2002), pode suprir a demanda hídrica de uma pequena propriedade rural.

#### 5 REFERÊNCIAS

ARDUINO PRODUCTS. Arduino/Genuino UNO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

BOTUCATU-SP. FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONOMICAS. (Org.). **Sítio Modelo: Faculdade de ciências agrônomicas**. 2013. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/#!/sitiomodelo>>. Acesso em: 12 jan. 3014.

FEDRIZZI, M. C. **Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições aprendidas e procedimentos para potencializar sua difusão**. São Paulo, 2003. 174p. Tese (Doutorado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-graduação da Universidade de São Paulo.

KOLLING, E. M.et al. **Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água**. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.3, p.527-535, set./dez. 2004.

MELÉNDEZ, Teddy Arturo Flores. **Avaliação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento**. 2009. 1 v. 86 p. 87 f. Monografia (Mestrado em Energia) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO USP. São Paulo.

MICHELS, Roger Nabeyama. **Avaliação de um sistema de bombeamento de água alimentado por painéis fotovoltaicos**. 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

MOREIRA, Carlos Alberto Machado. **Avaliação do Desempenho Hidro-Energético de Sistemas Fotovoltaicos Utilizados no Bombeamento se Água**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas., Botucatu-SP, 2009.

NIEDZIALKOSKI, Rosana Krauss. **Desempenho de painéis solares mono e policristalinos em um sistema de bombeamento de água**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Departamento de Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná., Cascavel, 2013.

ONU-Água -Programa das Nações Unidas. **Metas Relacionadas a água**, 2013. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-agua/>>. Acesso em: 3 dez. 2013.

SILVA, C. D.; SERAPHIM, O. J. **Eficiência da conversão de radiação solar em energia elétrica por módulo fotovoltaico.** Energia na agricultura. Botucatu, v. 20, n. 2, 2005, 1 - 13.

TIAGO FILHO, G. L. **Carneiro hidráulico: o que é e como construí-lo.** CERPCH - Centro Nacional de Referência em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos. 2002. Disponível em: <<http://tecnociencia.inf.br/comunidade/arqautor/diversos/bombacarneiro.swf>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

VICENTIN, Tiago Aparecido. **Acionamento de dois sistemas de bombeamento alimentados por uma central de microgeração fotovoltaica.** 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Engenharia Rural, Unesp-fca, Botucatu, 2014.