

## **BOMBEAMENTO DE ÁGUA NO MEIO RURAL, ANÁLISE ECONÔMICA DE DUAS CONFIGURAÇÕES FOTOVOLTAICAS E UMA ELÉTRICA CONVENCIONAL**

M. C. Fedrizzi, F. S. Ribeiro, R. Zilles  
Universidade de São Paulo (USP) - Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE)  
Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSF)  
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 – CEP 05508-010 – São Paulo – Brasil  
Tel. 55 11 3091-2638 – Fax 55 11 3816-7828 e-mail: fedrizzi@iee.usp.br

**RESUMO:** Apesar do grande potencial de aplicação, a tecnologia de bombeamento fotovoltaico não está mais disseminada por requerer um grande aporte de investimento inicial, ainda que seus custos de operação sejam reduzidos por não depender da compra de combustível, como é o caso dos sistemas com energia fóssil, ou do pagamento de tarifa elétrica, como é o caso dos sistemas elétricos convencionais. Este trabalho apresenta uma avaliação econômica de duas configurações de sistemas fotovoltaicos de bombeamento e a respectiva comparação com a alternativa de atendimento com a rede elétrica convencional. Através dos resultados e premissas de um estudo de caso no estado de São Paulo, pôde-se constatar que para um único atendimento, nas potências necessárias, que são usualmente baixas, a opção fotovoltaica é mais competitiva para distâncias superiores a 1 km da rede.

**Palavras chave:** energia solar, bombeamento fotovoltaico, bombeamento de água.

### **INTRODUÇÃO**

Dos 6 bilhões de habitantes do planeta, cerca de 1,2 bilhões não tem acesso à água potável. A Conferência do Milênio promovida pelas Nações Unidas realizada em 2000, determinou que até o ano de 2015 seja reduzido à metade o número de pessoas sem acesso à água potável (WHO, 2003). Para viabilizar esta determinação é necessário prover soluções energéticas que facilitem a difusão do acesso à água, pois grande parte da população com deficiência no abastecimento de água carece de energia para a sua captação e transporte. O meio rural empobrecido e distante das redes de serviços necessita de meios tecnológicos compatíveis com sua condição. No caso do abastecimento de água com fonte de captação local, há os sistemas de bombeamento com motores de acionamento à combustão interna e com motores elétricos de indução. Este estudo enfoca o segundo caso, especificamente as opções elétrica convencional e fotovoltaica.

A expansão da rede elétrica no Brasil tem alcançado grandes avanços nos últimos anos como consequência da obrigatoriedade da universalização do serviço elétrico (Lei 10.438, 2002) e do Programa Luz para Todos, que levou energia a mais de dez milhões de pessoas no meio rural, nos últimos quatro anos (PLpT, 2009). No entanto, por ser um país de dimensões continentais e deter baixa densidade populacional do meio rural, um certo número de localidades não receberá o atendimento pela rede elétrica convencional. No caso de atendimento com a rede elétrica convencional o bombeamento de água pode ser realizado com equipamentos nacionais amplamente difundidos no mercado, bombas com motor de indução, de fabricação nacional. O Luz para Todos é um programa que privilegia o atendimento de moradias rurais e tem apresentado dificuldades para o fornecimento de energia quando o consumidor for uma estação de bombeamento de água isolada. Quando a população não é atendida pela rede convencional o abastecimento de água, em geral, é precário e faz uso de pequenos geradores a combustão ou, no menor dos casos, de sistemas fotovoltaicos.

O bombeamento fotovoltaico teve grandes avanços tecnológicos desde suas primeiras aplicações na década de 1970. No Brasil, desde 1994, foram implantados cerca de 3.300 sistemas correspondendo a mais de 2 MWp de potência instalada (PRODEEM, 2001; Galdino et al., 2002; Fedrizzi, 2003), sendo que a maior parte deles foi implementada por iniciativas do Governo Federal, ONGs, grupos de pesquisa e instituições assistenciais em comunidades rurais de baixa renda. Comparando com o Brasil, como país em desenvolvimento, e por ter iniciado suas primeiras instalações fotovoltaicas de bombeamento na mesma época, a Índia conta com cerca de 7.000 sistemas instalados e com vários programas governamentais de incentivo à aplicação do bombeamento fotovoltaico (Purohit & Michaelowa, 2008), em que pese os sistemas de potência serem muito diferentes.

Além do aprimoramento da tecnologia, outro fator que contribuiu para sua disseminação foi a redução dos preços dos módulos fotovoltaicos no mercado internacional que passaram de 20,00 US\$/Wp, em 1970 (Barlow et al., 1991), para 3,00 US\$/Wp atualmente no mercado *spot* (Siemer, 2009). No Brasil, no entanto, o preço está por volta dos 5,50 US\$/Wp, uma vez que não há produção nacional de módulos e os custos de importação, seguro e transporte aumentam consideravelmente o preço para o consumidor final.

Apesar do grande potencial de aplicação no país, a tecnologia de bombeamento fotovoltaico não está mais disseminada por requerer um grande aporte de investimento inicial, ainda que seus custos de operação sejam reduzidos pois não depende da compra de combustível, como é o caso dos sistemas com energia fóssil; ou do pagamento de tarifa elétrica, como é o caso dos sistemas elétricos convencionais.

Ainda que os custos de operação sejam reduzidos, nos sistemas fotovoltaicos de bombeamento deve-se considerar as dificuldades de manutenção e os custos de reposição dos equipamentos importados. Exemplo extremo disso apresenta um levantamento em 801 sistemas instalados pelo PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, do Governo Federal), onde foram registradas 337 ocorrências, sendo que 57% das avarias ocorreram com os grupos motobombas e 41% com os equipamentos de condicionamento de potência (Bezerra, 2002). Os custos e as dificuldades envolvidas no reparo dos sistemas importados levaram ao sucateamento de muitos desses sistemas e ao descrédito na tecnologia de bombeamento fotovoltaico. Com vistas a minimizar esse problema vem sendo desenvolvidas modalidades de parametrização/acoplamento de conversores de frequência comerciais para acionar motobombas centrífugas trifásicas convencionais com geração fotovoltaica (Alonso-Abella et al., 2003; Brito, 2006). Este trabalho apresenta uma avaliação econômica de duas modalidades de sistemas fotovoltaicos de bombeamento e a respectiva comparação com a alternativa de atendimento com a rede elétrica convencional.

## SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO

Um sistema fotovoltaico de bombeamento padrão é constituído de gerador fotovoltaico, mecanismo de condicionamento de potência (inversor, controlador, seguidor do ponto de máxima potência), grupo motobomba e reservatório de água, conforme ilustra a figura 1. Diferentemente dos sistemas domiciliares de geração fotovoltaica autônoma, no bombeamento não são utilizados acumuladores eletroquímicos para armazenamento de energia elétrica nos horários de maior irradiância para sua posterior utilização, exceção feita nos casos em que a bomba é uma carga a mais de um sistema fotovoltaico autônomo. Como regra geral, nos períodos de maior irradiância a água é bombeada e armazenada em reservatórios para sua posterior utilização, os quais são dimensionados para prestar o serviço garantindo a autonomia definida de acordo com a aplicação e as condições de contorno. A energia é armazenada na forma de energia potencial da massa de água.

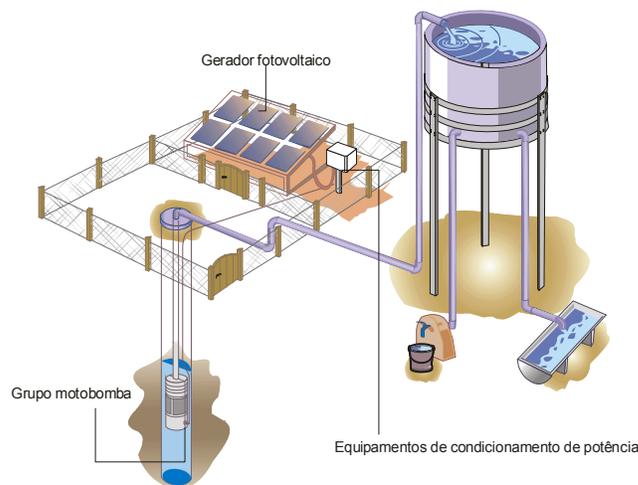


Figura 1: Sistema fotovoltaico de bombeamento padrão.

Até pouco tempo atrás, os sistemas fotovoltaicos de bombeamento só utilizavam motobombas e condicionamento de potência fabricados especialmente para as especificidades da fonte solar intermitente, ou seja, para a variação da irradiância ao longo do tempo, conforme figura 2. Outra característica desses grupos motobombas é a sua alta eficiência, podendo ser acima dos 40% para centrífugas e acima dos 50% para helicoidais. Esses equipamentos são produzidos por poucas empresas no mundo e serão chamados neste trabalho de sistemas fotovoltaicos de bombeamento importados (SFB-I).

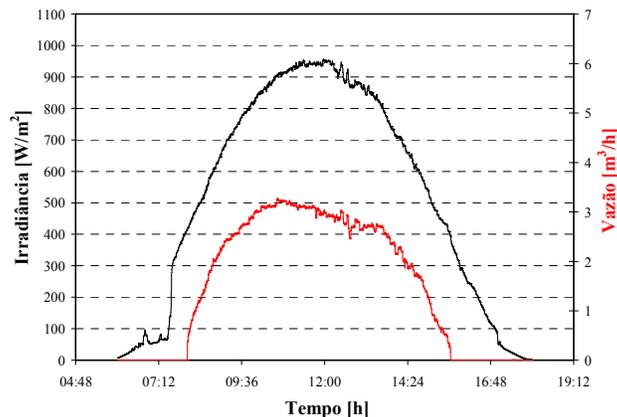


Figura 2: Variação da vazão em função da irradiância ao longo de um dia de bombeamento.

Apesar da alta qualidade dos SFB-I uma nova modalidade de sistemas de bombeamento fotovoltaico aparece como sendo viável tecnicamente e promissora economicamente. Ela é caracterizada pelo uso de conversores de frequência (aplicados em larga escala na indústria para o controle de processos) com motobombas elétricas convencionais, chamados aqui de sistemas fotovoltaicos de bombeamento com conversor de frequência (SFB-CF).

## CONVERSOR DE FREQUÊNCIA EM BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO

O conversor de frequência (CF) é um equipamento eletrônico que permite obter potência com tensão e frequência variáveis. É uma excelente opção para controle de velocidade de motores elétricos de corrente alternada, particularmente para motor de indução trifásico. Ele é constituído por um circuito retificador que alimenta, através de um circuito intermediário chamado barramento cc, o seu circuito de saída. A 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 (Brito, 2006).

Para que o conversor de frequência possa ser utilizado neste tipo de aplicação, é necessário que possua como característica técnica o controlador proporcional integral (PI) incorporado ao seu circuito. Este dispositivo permite realizar a tarefa de variar automaticamente, proporcionalmente à 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 motobomba 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; ainda que seja fora do seu ponto nominal (Brito et al., 2007). Neste tipo de sistema todo o controle é feito pelo conversor de frequência, sendo preciso parametrizá-lo para as condições de trabalho em que irá operar, conforme descrição de Brito e Zilles (2006).

## AVALIAÇÃO ECONÔMICA DAS OPÇÕES

Partindo-se do princípio de que as opções de bombeamento para o meio rural enunciadas gozam de confiabilidade técnica, faz-se uma avaliação econômica que pode ser muito útil na tomada de decisão quanto à escolha da modalidade a ser adotada. A análise econômica das opções foi feita através do cálculo de algumas figuras de mérito que equiparam os custos de investimento, de reposição, de operação e de manutenção dos diferentes sistemas para um mesmo período de vida útil do projeto (Dutt, 1992; Larson, 1989).

**Custo do Ciclo de Vida (CCV)** é o valor presente de todos os custos ao longo da vida útil do projeto, isto é: investimento inicial, reposição de equipamentos, operação, manutenção e tarifa elétrica ao longo da vida útil do projeto. Leva-se em conta o valor do dinheiro no tempo em função da taxa de desconto utilizada.

$$CCV = I_0 + O \& M \cdot \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + MB \cdot (1+i)^{-n} \quad (1)$$

$I_0$  - Custo do investimento inicial (US\$)

$O \& M$  - Custo em Operação e Manutenção (US\$)

$i$  - Taxa de desconto (% ao ano)

$n$  - Vida útil (anos)

$MB-CP$  - Custo motobomba +condicionamento de potência (US\$)

**Taxa de desconto ( $i$ )** é o índice pelo qual estima-se o valor presente de determinada quantidade de moeda no futuro. A taxa de desconto oferece uma indicação do nível de aproveitamento das oportunidades de investimento econômico da sociedade.

$$i = \left( \frac{VP}{VF} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (2)$$

$VP$  - Valor presente

$VF$  - Valor futuro

**Custo do Ciclo de Vida Anualizado (CCVA)** é o custo anual requerido para o pagamento total do investimento ao longo de sua vida útil. Pode ser calculado como sendo o produto entre o Custo do Ciclo de Vida e o Fator de Recuperação de Capital onde:

$$CCVA = CCV \cdot FRC \quad (3)$$

**Fator de Recuperação de Capital (FRC)** é o índice pelo qual o investimento total do projeto é recuperado anualmente em função de determinada taxa de desconto, dentro de seu período de vida útil.

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

**Custo do Volume Bombeado (CVB)** proporciona o custo unitário do volume bombeado, metro cúbico, para cada uma das opções utilizadas. Determina o custo anual do projeto e divide pelo volume bombeado ao longo de um ano.

$$CVB = \frac{CCVA}{VB_a} \quad (5)$$

$CCVA$  - Custo do Ciclo de Vida Anualizado (US\$/a)

$VB_a$  - Volume Bombeado por ano ( $m^3/a$ )

A avaliação econômica é realizada considerando as três modalidades de bombeamento para duas condições específicas:

- 12 m<sup>3</sup>/dia a uma altura manométrica de 30 m (denominado sistema pequeno).
- 20 m<sup>3</sup>/dia a uma altura manométrica de 60 m (denominado sistema grande).

**Sistema de bombeamento elétrico convencional SB-EC** – utiliza motobomba convencional nacional acionada pela rede elétrica. A tarifa elétrica utilizada é a “tarifa rural para bombeamento” da Elektro (Concessionária de energia que atua nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul), incluindo taxas. Nesta configuração são calculados os custos de extensão da rede de distribuição para 1, 2, 3, 4 e 5 km, relativos ao atendimento a uma única unidade consumidora. Estes custos e os envolvidos na de manutenção dos equipamentos da rede e da faixa de servidão foram atualizados de Delsin e De Stefani (2007). As motobombas utilizadas são da marca Somar.

**Sistema fotovoltaico de bombeamento importado SFB-I** – utiliza motobomba em corrente contínua importada fabricada especialmente para uso fotovoltaico, assim como o condicionamento de potência (*booster*). As motobombas são da marca Sunpumps, antiga Solarjack, amplamente utilizada no PRODEEM.

**Sistema fotovoltaico de bombeamento com conversor de frequência SFB-CF** – utiliza as mesmas motobombas centrífugas trifásicas convencionais nacionais do sistema SB-EC, com a adição do conversor de frequência igualmente nacional, da marca WEG.

Em função das características mecânicas/elétricas das motobombas e por não haver uma padronização de sua produção, foram escolhidos os equipamentos que melhor se adequavam à cada demanda (vazão – altura manométrica) e não, necessariamente, tivessem a mesma potência de motor nem o mesmo número de estágios. Ou seja, para cada modalidade foi considerado o equipamento que melhor satisfizesse as exigências no seu ponto de melhor eficiência. A tabela 1 apresenta as principais características das motobombas utilizadas nessa análise.

Sistema	Motobomba	Potência motor	Motor	Campo Fotovoltaico
SFB-EC	BMSAF-404/0,75-9	0,75 CV	ca-trifásico	-
	BMSAF-407/0,2-13	2,0 CV	ca-trifásico	-
SFB-I	SCS14-160	1,0 CV	cc	960 Wp
	SCS20-200	2,0 CV	cc	2.000 Wp
SFB-CF	BMSAF-404/0,75-9	0,75 CV	ca-trifásico	1.200 Wp
	BMSAF-407/0,2-13	2,0 CV	ca-trifásico	2.600 Wp

Tabela 1: Características das motobombas utilizadas.

A tabela 2 apresenta os parâmetros e premissas gerais utilizados nos cálculos.

Período de análise	24 anos
Taxa de desconto	12 % ao ano
Irradiação de referência	5 kWh/m <sup>2</sup> .dia
Tarifa elétrica rural para irrigação (inclui taxas)	0,17538 R\$/kWh
Distância da rede elétrica	1, 2, 3, 4 e 5 km
Custo de geração fotovoltaica	5,50 US\$/Wp
Custo rede elétrica uma unidade consumidora	9.720,00 US\$/km
Manutenção rede elétrica equipamentos + servidão	691,00 US\$/km.ano
Manutenção SFB-I e SFB-CF	100,00 US\$/ano
Cotação do dólar	1,00 US\$ = 1,80 R\$

Tabela 2: Parâmetros utilizados nos cálculos.

A tabela 3 apresenta os valores dos seguintes itens utilizados nos cálculos: motobombas, sistemas de condicionamento de potência, geração fotovoltaica e rede elétrica por km.

Sistema	Motobomba	Preço (US\$)	Condicion. potênc.	Preço (US\$)	Geração Wp	Custo (US\$)	Custo rede (US\$/km)
SFB-EC	BMSAF-404/0,75-9	761,00	-	-	-	-	9.722,00
	BMSAF-407/0,2-13	989,00	-	-	-	-	9.722,00
SFB-I	SCS14-160	4.115,00	PCB-90	1.252,00	960	6.240,00	-
	SCS20-200	4.680,00	PCB-180	1.188,00	2000	13.000,00	-
SFB-CF	BMSAF-404/0,75-9	761,00	CFW-08-1	472,00	1.200	7.800,00	-
	BMSAF-407/0,2-13	989,00	CFW-08-2	578,00	2.600	16.900,00	-

Tabela 3: Valores utilizados nos cálculos em cada sistema de bombeamento.

As tabelas 4 e 5 apresentam os resultados dos cálculos para cada configuração nos sistemas pequeno e grande, respectivamente.

Comparação Sistemas Pequenos							
Tipo sistema	Distância rede (km)	Custo rede distrib. (US\$)	Manutenção total rede ano (US\$/a)	Investimento Inicial (US\$)	Custo Ciclo Vida-CCV (US\$)	CCV Anualizado (US\$/a)	Custo Bombea. (US\$/m <sup>3</sup> )
SB-EC	1	9.722,00	567,00	10.640,00	15.825,00	2.031,00	0,46
	2	19.444,00	1.135,00	20.362,00	29.964,00	3.849,25	0,88
	3	29.167,00	1.702,00	30.084,00	44.104,00	5.665,00	1,29
	4	38.889,00	2.270,00	39.807,00	58.243,61	7.482,00	1,71
	5	48.611,00	2.837,00	49.529,00	72.383,00	9.298,00	2,12
		<b>C. geração FV (US\$)</b>					
SFB-I	0	5.280,00	100,00	11.829,00	10.869,00	2.112,00	0,48
SFB-CF	0	6.600,00	100,00	9.255,00	8.055,00	1.276,00	0,29

Tabela 4: Resultados dos cálculos para cada configuração nos sistemas pequenos.

Comparação Sistemas Grandes							
Tipo sistema	Distância rede (km)	Custo rede distrib. (US\$)	Manutenção total rede ano (US\$/a)	Investimento Inicial (US\$)	Custo Ciclo Vida-CCV (US\$)	CCV Anualizado (US\$/a)	Custo Bombea. (US\$/m <sup>3</sup> )
SB-EC	1	9.722,00	567,00	10.868,00	17.829,00	2.290,00	0,31
	2	19.444,00	1.135,00	20.590,00	31.968,00	4.107,00	0,56
	3	29.167,00	1.702,00	30.312,00	46.108,00	5.923,00	0,81
	4	38.889,00	2.270,00	40.034,00	60.248,00	7.739,00	1,06
	5	48.611,00	2.837,00	49.757,00	74.387,00	9.556,00	1,31
		<b>C. geração FV (US\$)</b>					
SFB-I	0	11.000,00	100,00	17.025,00	23.045,00	2.960,00	0,41
SFB-CF	0	14.300,00	100,00	16.023,00	18.201,00	2.338,00	0,32

Tabela 5: Resultados dos cálculos para cada configuração nos sistemas grandes.

## RESULTADOS E CONCLUSÕES

As figuras 3 e 4 apresentam de forma gráfica o valor presente do custo do volume bombeado (US\$/m<sup>3</sup>) das três configurações para sistemas pequeno e grande, respectivamente. Os gráficos foram construídos de forma a facilitar a comparação entre os sistemas, sendo a modalidade com energia elétrica convencional apresentada em função das distâncias da rede de distribuição para ambos tamanhos de sistema.

Comparando-se os dois sistemas fotovoltaicos entre si, em ambos cenários (pequeno e grande) o SFB-CF apresenta menores custos de bombeamento. Isto ocorre, mesmo que este sistema necessite uma maior potência instalada em virtude da menor eficiência do seu grupo motobomba, conforme tabela 3. O que encarece o SFB-I são os custos dos equipamentos motobomba e condicionador de potência importados, conforme tabela 3.

Analisando-se as três modalidades no sistema pequeno, a opção SFB-CF obteve o menor custo, sendo seguida pela opção SB-EC a 1 km de rede e da opção SFB-I. A partir de, aproximadamente, 1,5 km a opção com rede elétrica convencional apresenta os maiores custos.

No sistema grande as modalidades SB-EC e SFB-CF apresentaram, praticamente, o mesmo custo para 1 km de rede (0,31 US\$/m<sup>3</sup> e 0,32 US\$/m<sup>3</sup>, respectivamente) seguido pela opção SFB-I. A partir de 1,5 km de rede ambas opções fotovoltaicas são mais competitivas que a opção SB-EC.

É importante ressaltar, no entanto, que a análise aqui feita leva em conta somente a aplicação da energia para o bombeamento de água e que a opção com rede elétrica convencional adotada é para o atendimento de uma única unidade consumidora, justamente essa carga do bombeamento de água.

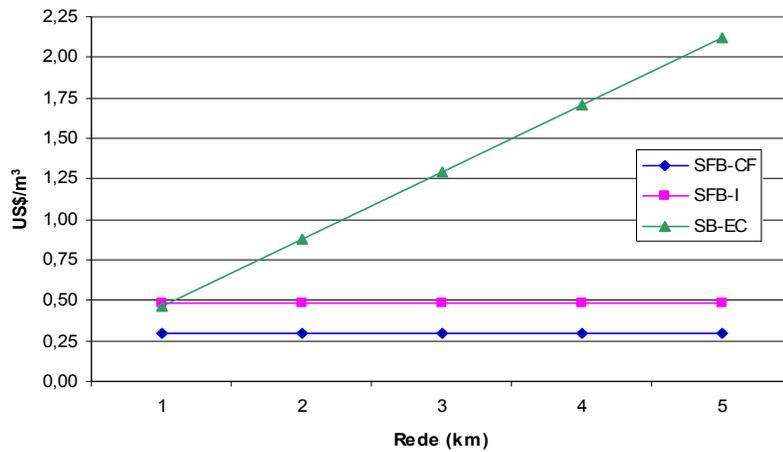


Figura 3: Sistema pequeno - custo do volume bombeado (US\$/m<sup>3</sup>) para as três configurações, com a opção SB-EC em função da distância da rede (km).

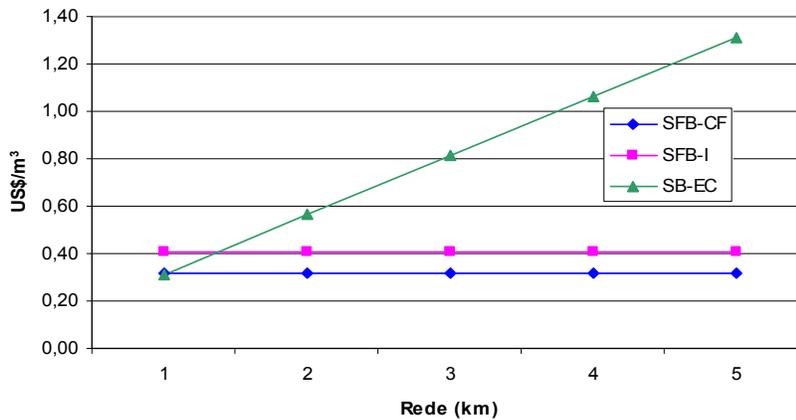


Figura 4: Sis da distância da rede (km).

EC em função

A partir dos resultados pôde-se constatar que no caso da necessidade de extensão da rede elétrica para um único atendimento de bombeamento, a opção fotovoltaica é competitiva a partir de 1 km de rede. Cabe mencionar que a opção SFB-CF, além de apresentar maior competitividade econômica, tem vantagens operacionais por utilizar motobomba e condicionamento de potência de fabricação nacional. Nesse sentido, a configuração SFB-CF (exemplo da figura 5), apresenta-se como a melhor alternativa para a revitalização dos SFB-I inoperantes no país.



Figura 5: Sistema fotovoltaico de bombeamento do PRODEEM revitalizado com a configuração SFB-CF, Pontal do Paranapanema-SP, Brasil.

Por último, destaca-se que a utilização da configuração SFB-CF pode facilmente ser re-configurada no caso da chegada da rede elétrica. Neste caso, o grupo motobomba pode ser mantido no local, sendo necessário apenas a remoção do gerador fotovoltaico e do condicionamento de potência. Sendo que esses últimos podem ser utilizados em outras localidades. Os resultados apresentados podem auxiliar nas ações e decisões de atendimento elétrico para fornecimento de água em localidades ainda não atendidas pela rede elétrica convencional.

**AGRADECIMENTO:** este trabalho contou com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP.

## REFERENCIAS

- Alonso-Abella, M., Lorenzo E., Chenlo F. (2003). PV water pumping systems based on standard frequency converters, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 11: 179-191.
- Barlow R., Mc Nelis, B., Derrick, A. (1991). *Status and experience of solar PV pumping in developing countries*. In: 10<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisboa, Portugal, 1991.
- Bezerra, P. (2002). Bombeamento de água fotovoltaico – problemas na implantação de um programa de utilização ampla: PRODEE. VIII Seminário Ibero-Americano de Energia Solar – Abastecimento de água em Área Rurais Mediante Bombeamento Fotovoltaico, Apresentação oral, Recife, Brasil.
- Brito, A. U. (2006). Otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de conversores de frequência comerciais para acionar bombas centrífugas. Tese apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Brito, A. U. 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.
- Brito, A. U., Fedrizzi, M.C., Zilles, R. (2007). PV Pumping Systems: A Useful Tool to Check Operational Performance. *Progress in Photovoltaics*, DOI: 10.1002/pip.710, v. 15, p. 41-49.
- Delsin, R., De Stefani, D. L. (2007). Sistemas individuais de geração com fontes intermitentes: Sistemas fotovoltaicos domiciliares como alternativa à instalação de rede elétrica convencional. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de certificado de Especialista em Energia – MBA em Energia. São Paulo. Brasil.
- Dutt, G. S. (1992). *Techniques for End-Use Electricity Analysis and Conservation Program Design and Evaluation*. A Manual, for the Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, NJ and the Office of Energy and Infrastructure US Agency for International Development, Washington, DC, vol.A cap.6, USA.
- Fedrizzi, M. C. (2003). Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições apreendidas e procedimentos para potencializar sua difusão. Tese de doutorado apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Galdino, M. A., Lima, J.H.G. (2002). *PRODEEM – O programa nacional de eletrificação rural baseado em energia solar fotovoltaica*. IX Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro.
- Larson, E. D. et al. (1989). *The Technology Menu for Efficient End Use of Energy*, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Lund, vol.1, Sweden.
- PLpT. (2009). Informativo 20. <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Informativo%2020.pdf>.
- PRODEEM. (2001). *Energia das pequenas comunidades. Relatório de Atividades*. (agosto 2000 – março 2001), Ministério de Minas e Energia, Brasília.
- Purohit, P., Michaelowa, A. (2008). CDM potential of SPV pumps in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, pp. 181-199. Science Direct, Elsevier.
- Siemer T. (2009). *Finance & economics module price index*. PHOTON International, 3, pp 96.
- WHO, (2003). The World Health Organization. *The right to water*. Geneve: World Health Organization, [Health and human rights publication series – 3.]

## ABSTRACT

In spite of the great potential of application, the photovoltaic pumping technology is not more disseminated by requesting a great contribution of initial investment, although its operation costs are reduced for not depending of the purchase of fuel, as it is the case of the systems with fossil energy, or of the payment of electric tariff, as it is the case of the conventional electric systems. This work presents an economic evaluation of two configurations of photovoltaic pumping systems and the respective comparison with the attendance alternative with the conventional electric grid. Through the results and premises of a case study in the state of São Paulo, it could be verified that for an only attendance, in the necessary potencies, that they are usually low, the option photovoltaic is more competitive for distances higher than 1 km of the grid.

**Keywords:** solar energy, photovoltaic pumping, water pumping.