

PEQUENOS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO: ANÁLISE DA COMPETITIVIDADE COM OUTRAS OPÇÕES

Maria Cristina Fedrizzi
Ildo Luis Sauer

Programa Interunidade de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo

RESUMO

O presente trabalho faz uma revisão dos problemas energéticos relacionados ao abastecimento de água às populações isoladas no Brasil e realiza uma análise econômico-financeira comparativa das opções de bombeamento de água com tecnologia elétrica convencional, solar fotovoltaica e a combustão interna, para pequenas demandas. Esta análise comparativa demonstra que no contexto atual já há significativo espaço para o emprego do bombeamento fotovoltaico no país.

SUMMARY

This work assesses the energy problems related to water supply for isolated regions and communities in Brazil. A comparative economic analysis among conventional electricity powered, Diesel and/or gasoline fueled, and PV pumping, for small systems was performed. This analysis shows that there is a significant space for PV pumping systems in the current Brazilian context.

INTRODUÇÃO

Por questões ambientais principalmente, desde a década de 80 formas de conversão de energia renováveis de última geração como a solar fotovoltaica, estão permanentemente no debate da problemática energética. No entanto, sua participação quantitativa no contexto global ainda é pequena, o que para alguns pode significar que esta tecnologia tem um marcado caráter futurista. Não obstante, tal idéia ignora muitos componentes da realidade atual, tanto no que se refere a confiabilidade da tecnologia quanto ao seu potencial competitivo com outras opções, principalmente quando se refere a geração autônoma de energia elétrica.

No Brasil atual, há uma marcada necessidade de “saldar um débito social” e solucionar muitos dos problemas de um grande contingente de desfavorecidos,

que vivem de alguma forma isolados e sem acesso a energia elétrica.

A carência energética atinge também a saúde destas populações no que se refere ao acesso a água para consumo em maior quantidade e principalmente de melhor qualidade.

É com olhos nesta problemática que realizou-se este trabalho, no sentido de localizar as condições nas quais o bombeamento de água com energia solar fotovoltaica para pequenas demandas (demanda unifamiliar ou equivalente) é competitivo com as opções a combustível fóssil e com a rede elétrica convencional.

Para tanto, além de algumas considerações a respeito da problemática energética e hídrica, e da criação de cenários para o cálculo e determinação da competitividade, são analisadas algumas condições, as quais propiciariam uma maior disseminação da tecnologia fotovoltaica no Brasil.

A QUESTÃO ENERGÉTICA

A eletricidade é uma das formas de energia mais versáteis e que melhor se adapta às necessidades da civilização no mundo atual. Sua utilização está tão estendida que dificilmente se concebe uma sociedade tecnologicamente avançada que não faça uso dela em larga escala. Pode-se dizer que todo o parque tecnológico, exceção feita em grande medida ao transporte, está baseado em eletricidade.

No contexto mundial, a estrutura energética atual de geração de eletricidade está essencialmente baseada no consumo massivo de combustíveis não renováveis, o que conduz inevitavelmente, a um esgotamento das reservas e supõe uma ameaça real ao meio ambiente, manifestando-se principalmente através da acidificação do ciclo da água, do provável aquecimento global do Planeta e de outros problemas relacionados com a saúde dos seres vivos.

Passando-se ao caso brasileiro, a situação é menos preocupante devido ao peso da hidroeletricidade na matriz energética nacional que é de cerca de 90%. Por outro lado, os grandes empreendimentos hidroelétricos tem provocado enormes transtornos ambientais, não somente no alagamento de terras como também com as linhas de transmissão e de distribuição, com conseqüências devastadoras para as

populações atingidas, provocando perdas patrimoniais, culturais, de identidade e a própria desestruturação das comunidades.

Tendo em vista ainda os fins para os quais muitos dos grandes empreendimentos hidroelétricos foram construídos, o paradoxo vai mais além e tem-se no Brasil inúmeros casos nos quais as linhas de transmissão passam por centenas de quilômetros de terras habitadas, nas quais seus moradores não tem eletricidade em suas propriedades. Estes são alguns dos problemas que tornam questionável a eficácia do sistema energético atual, como base de um desenvolvimento sustentável e com justiça social.

Outro problema relacionado com o acesso a energia elétrica, são os decorrentes das grandes distâncias existentes no território nacional. Os altos custos de distribuição aliados muitas vezes ao baixo consumo por ligação em comunidades isoladas, tornam estas populações pouco atraentes aos investimentos privados. Por outro lado, a baixa representação política destes grupos, dificulta sua capacidade de reivindicação no sentido de que sejam alvo de investimentos sociais.

Em vista disso, torna-se necessário buscar soluções energéticas de geração autônoma para as populações isoladas, visando promover o acesso a energia elétrica a toda a população, indistintamente de sua condição econômica ou localização geográfica. E estas soluções serão tanto melhores, quanto mais baratas e menos prejudiciais para o ambiente forem.

Desta forma, a energia solar fotovoltaica desde a década de 80 vem tendo um papel muito importante na eletrificação de populações isoladas, com muito êxito também, no bombeamento de água.

O ACESSO A ÁGUA

Com frequência o problema de distribuição de água está relacionado com as deficiências energéticas locais para executar os trabalhos de extração e transporte da água do reservatório ou manancial ao ponto de sua utilização.

A garantia do suprimento de água, melhorando assim as condições de higiene, reduz a incidência de doenças associadas ao uso da mesma, bem como a diminuição de migrações humanas para regiões melhor abastecidas. Pode-se recordar aqui, o enorme contingente de pessoas no Brasil e no mundo inteiro, que literalmente fogem do seu lugar de origem em períodos de estiagem. Neste contexto a água tem um papel fundamental, considerando a situação mundial atual que é a de mais de 1 bilhão de pessoas sem acesso a água potável. [1]

Geralmente, as únicas fontes de energia acessíveis às populações carentes e isoladas, para o bombeamento e transporte da água são a tração humana e animal, o que limita muito a oferta do recurso, e em muitos casos torna-se um trabalho escravo, afetando principalmente mulheres e crianças.

Frente a esta situação, e reconhecendo que a questão em foco é o acesso à água potável por parte de pequenas populações isoladas, a solução deste problema pode, em muitos casos, estar associada à introdução de sistemas autônomos de geração solar fotovoltaica, uma vez que a extensão de redes de distribuição de energia elétrica à localidades distantes dos centros geradores pode ser muito mais custosa.

Atualmente a tecnologia fotovoltaica conta com um alto grau de maturidade o que se reflete em uma também elevada confiabilidade e eficiência no funcionamento dos sistemas. Concretamente, a geração fotovoltaica tem um excepcional êxito em aplicações nas quais as exigências em termos de confiabilidade são rigorosas como podem ser em equipamentos de telecomunicação, sinalização e suprimento de água para consumo humano e de animais domésticos.

Mesmo que a geração fotovoltaica já tenha sido aprovada tecnicamente, para que ocorra uma maior disseminação, existe a necessidade de que seja competitiva com outras opções. Entretanto, para que haja uma maior competitividade, isto é, para que ocorra uma redução nos custos, deve haver uma mudança na atual estrutura de produção de módulos em termos de economia de escala e curva de aprendizado, a fim de que possa ser eliminado o atual círculo vicioso: os custos elevados mantêm a demanda baixa e a baixa demanda mantêm os custos elevados.

Atualmente, e ainda que não tenham sido alcançados os custos que alguns prediziam no otimismo dos anos 70, o número de aplicações fotovoltaicas capazes de romper esse círculo vicioso cresce dia a dia, ao passo que os preços decrescem e que há uma melhora na qualidade dos produtos oferecidos ao consumidor. Com base na combinação da melhoria da tecnologia e da otimização da economia de escala, houve uma redução no custo do Watt pico de 50,00 US\$ para 4,50 US\$ entre 1975 e 1998. Novas diretrizes apoiadas por várias instituições internacionais preconizam que o preço do Watt pico estará entre 1,50 US\$ e 2,00 US\$ por volta do ano 2005. [2]

Neste sentido, apresenta-se neste trabalho uma análise da competitividade econômico-financeira entre sistemas de bombeamento, comparando as opções fotovoltaica, a gasolina-Diesel e a rede elétrica convencional.

ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA

A análise econômico-financeira das opções é feita através do cálculo de algumas figuras de mérito que equiparam os custos médios de investimento, de reposição, de operação e de manutenção das diferentes opções, para um mesmo período de vida útil do projeto, para tanto, são utilizados preços de mercado.

FIGURAS DE MÉRITO

As Figuras de Mérito foram extraídas e compiladas de vários autores [3] [4], enfocando o custo do volume bombeado como principal parâmetro decisório, mas não

único, para os investimentos. O formulário utilizado é apresentado a seguir.

Custo do Ciclo de Vida Anualizado (CCVA)

$$CCVA = I_o \cdot FRC(i, n) + MB \cdot FRC(i, N) + O \& M \quad (1)$$

I_o - Custo do investimento inicial (US\$).

$O \& M$ - Custo Operação e Manutenção por ano (US\$).

i - Taxa de desconto (% ao ano).

n - Vida útil do projeto (anos).

MB - Custo do sistema motobomba (US\$).

N - Vida útil da motobomba (anos).

Fator de Recuperação de Capital (FRC)

$$FRC(i, x) = \frac{i(1+i)^x}{(1+i)^x - 1} \quad (2)$$

x - Vida útil (anos)

Custo do Volume Bombeado (CVB)

$$CVB = \frac{CCVA}{VB_a} \quad (3)$$

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

CENÁRIOS

Foram estruturados três casos básicos, em função de três alturas manométricas e uma vazão média de $2 m^3/dia$, para cada uma das opções. A partir de cada caso, foram criados cenários, variando-se os principais parâmetros como o preço do Watt pico, a distância da rede tronco e a taxa de desconto.

A determinação da vazão em $2 m^3/dia$ foi baseada no consumo familiar médio diário estipulado no *Domestic Water Supply* [5], e as alturas manométricas de 20, 40 e 60 m, são baseadas nas profundidades médias de bombeamento condizentes com as demandas médias encontradas nos documentos de Concorrência Internacional do PRODEEM NUAD CI-001/96 e MME/DNDE 001/97 [6], para cerca de 360 sistemas espalhados distribuídos pelo território nacional.

A taxa de desconto anual assumida para as três opções é de 12%, por ser correntemente utilizada nas análises de projetos energéticos, e ainda, de 6% (utilizada pelo BNDES em projetos de desenvolvimento) como forma sugestiva de incentivo à opção solar fotovoltaica, uma vez que, as outras opções obtiveram inúmeros subsídios visando seu desenvolvimento tecnológico e introdução no mercado, e que ainda hoje existem. Descreve-se a seguir os principais parâmetros específicos de cada opção.

Na opção fotovoltaica, a irradiação média utilizada é de $5 kWh/m^2.dia$, o preço do gerador varia de 7,00 US\$/Wp a 4,50 US\$/Wp (mercados nacional e internacional respectivamente), o preço das motobombas variam de 895,00 US\$ a 3.100,00 US\$.

Na opção com energia elétrica convencional foram consideradas as possibilidades de existência ou não de rede elétrica, e no caso negativo, foram calculados a necessidade de extensão da rede em até 2 km, valor no qual a fotovoltaica já é mais competitiva do que a rede convencional para os cenários em questão. Além disso, por tratar-se de uma opção que, uma vez construída a rede, a eletricidade pode ser utilizada para inúmeras outras atividades e por grande número de consumidores, somente uma fração (30%) dos custos de construção são imputados nos cálculos dos custos de bombeamento. Estes custos apresentam grande variação dependendo da concessionária, da geografia do local e dos critérios construtivos da rede, entre outros; no entanto, para os devidos cálculos foram assumidos os seguintes custos médios de implantação da rede elétrica: Sistema monofásico padrão rural de 3.400,00 US\$/km e sistema trifásico padrão rural de 6.400,00 US\$/km. A tarifa elétrica média assumida foi de 0,069 US\$/kWh e os preços das motobombas elétricas variam de 360,00 US\$ a 1.400,00 US\$.

Para a opção com combustíveis fósseis, o preço básico do litro de gasolina é de 0,798 US\$/litro e o do Diesel de 0,438 US\$/litro. Os preços das motobombas variam de 1.100,00 US\$ a 5.170,00 US\$.

As tabelas 1, 2 e 3 apresentam, um resumo das planilhas de cálculo utilizadas para cada uma das opções e as figuras de número 1 a 12 representam graficamente os resultados obtidos. Após as figuras, encontram-se as principais conclusões deste trabalho, e para um maior aprofundamento nesta questão, o trabalho Fornecimento de Água com Sistemas de Bombeamento Fotovoltaicos [7], proporciona um estudo mais completo sobre a competitividade de sistemas de bombeamento fotovoltaico de maior porte.

Tabela 1.

| FOTOVOLTAICO | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|-----------------------|----------------|-------------|-------------------|---------------|----------------|---------------------|------------------------|
| Gdm(B) | 5 | .Wh/m ² .d | Qd | 2 | m ³ /d | gerador | 7 | US\$/Wp | |
| Gref | 1 | .Wh/m ² .d | Qa | 730 | m ³ /a | gerador | 4,5 | US\$/Wp | |
| nsistema | 0,045 | | O&M | 25 | US\$/a | reserv. | 240 | US\$ | |
| Altura manom. | Ener. necess. | Hid. Nomin. | Potên. Geração | Custo Bomba | Preço Bomba | Custo Inicial | Cus.Ciclo Vida | Cus.Ciclo /Anualiza | Custo Bombea. Variável |
| m | Wh.d | Wp | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$/a | US\$/m ³ | %, US\$/Wp |
| 20 | 109 | 50 | 424 | 895 | 1559 | 2034 | 272 | 0,373 | 12%.7US\$ |
| 20 | 109 | 50 | 273 | 895 | 1408 | 1882 | 252 | 0,345 | 12%.4,5US\$ |
| 20 | 109 | 50 | 424 | 895 | 1559 | 2034 | 177 | 0,243 | 6%.7US\$ |
| 20 | 109 | 50 | 273 | 895 | 1408 | 1882 | 164 | 0,225 | 6%.4,5US\$ |
| 40 | 218 | 101 | 848 | 895 | 1983 | 2458 | 329 | 0,451 | 12%.7US\$ |
| 40 | 218 | 101 | 545 | 895 | 1680 | 2155 | 288 | 0,395 | 12%.4,5US\$ |
| 40 | 218 | 101 | 848 | 895 | 1983 | 2458 | 214 | 0,294 | 6%.7US\$ |
| 40 | 218 | 101 | 545 | 895 | 1680 | 2155 | 188 | 0,257 | 6%.4,5US\$ |
| 60 | 327 | 151 | 1272 | 1400 | 2912 | 3549 | 475 | 0,651 | 12%.7US\$ |
| 60 | 327 | 151 | 818 | 1400 | 2458 | 3095 | 414 | 0,568 | 12%.4,5US\$ |
| 60 | 327 | 151 | 1272 | 1400 | 2912 | 3549 | 309 | 0,424 | 6%.7US\$ |
| 60 | 327 | 151 | 818 | 1400 | 2458 | 3095 | 270 | 0,370 | 6%.4,5US\$ |

Tabela 2.

| ELÉTRICO CONVENCIONAL | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------|------------------|------------|-------------|---------------|-----------------|----------------------|---------------|-----------|------|
| Qa | 730 | m³/3/a | nMBom. | 0,465 | O&M | 25 | US\$/a | | | |
| Qd | 2 | m³/3/d | eletricid. | 0,069 | US\$/kW | cust.rede | 3400 | US\$/km | monofás. | |
| Coefic. | 1,2 | | reserv. | 80 | US\$/ | cust.rede | 6400 | US\$/km | trifásico | |
| Altura manom. | Ener.Hid. necess. | Ener.El. Coefic. | Gerção | Preço Bomba | Custo Inicial | Cust.Ciclo Vida | Cust.Ciclo /Anualiza | Custo Bombea. | Variável | |
| m | Wh.d | kWh/a | US\$/a | US\$ | US\$ | US\$ | US\$/a | US\$/m³ | km | rede |
| 20 | 109 | 103 | 7 | 360 | 440 | 796 | 107 | 0,146 | 0 | |
| 20 | 109 | 103 | 7 | 360 | 1573 | 1929 | 258 | 0,354 | 1 | |
| 20 | 109 | 103 | 7 | 360 | 2707 | 3062 | 410 | 0,562 | 2 | |
| 20 | 109 | 103 | 7 | 360 | 3840 | 4196 | 562 | 0,769 | 3 | |
| 40 | 218 | 205 | 14 | 670 | 750 | 1258 | 168 | 0,231 | 0 | |
| 40 | 218 | 205 | 14 | 670 | 1883 | 2392 | 320 | 0,439 | 1 | |
| 40 | 218 | 205 | 14 | 670 | 3017 | 3525 | 472 | 0,646 | 2 | |
| 40 | 218 | 205 | 14 | 670 | 4150 | 4658 | 624 | 0,854 | 3 | |
| 60 | 327 | 308 | 21 | 1400 | 1480 | 2276 | 305 | 0,417 | 0 | |
| 60 | 327 | 308 | 21 | 1400 | 2613 | 3410 | 456 | 0,625 | 1 | |
| 60 | 327 | 308 | 21 | 1400 | 3747 | 4543 | 608 | 0,833 | 2 | |
| 60 | 327 | 308 | 21 | 1400 | 4880 | 5676 | 760 | 1,041 | 3 | |

Tabela 3.

| COMBUSTAO INTERNA | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-----------------|------------|-------------|---------------|-----------------|----------------------|---------------|------------|--|
| Qa | 730 | m³/3/a | gasolina | | | | Diesel | | | |
| Qd | 2 | m³/3/d | ret.gas. | 190 | US\$/ | ret. Dies. | 210 | US\$/ | | |
| O&Mg | 65 | US\$/a | preço gas | 0,798 | US\$/l | preço Die | 0,43778 | US\$/l | | |
| O&MD | 40 | US\$/a | preço gas | 1,596 | US\$/l | preço Die | 0,87556 | US\$/l | | |
| reserv. | 80 | US\$/ | 1 lit.gas. | 9 | kWh | 1 lit.Dies. | 11 | kWh | | |
| Coefic. | 1,2 | | nMotbom. | 0,1178 | | nMotbom | 0,186 | | | |
| Altura manom. | Ener.Hid. necess. | E.Mecã. c.coef. | Gerção | Preço Bomba | Custo Inicial | Cust.Ciclo Vida | Cust.Ciclo /Anualiza | Custo Bombea. | Variável | |
| m | Wh.d | kWh/a | US\$/a | US\$ | US\$ | US\$ | US\$/a | US\$/m³ | US\$/litro | |
| 20 | 109 | 405 | 36 | 1100 | 1180 | 2727 | 365 | 0,500 | 0,798 | |
| 20 | 109 | 405 | 72 | 1100 | 1180 | 2996 | 401 | 0,549 | 1,596 | |
| 40 | 218 | 811 | 32 | 4000 | 4080 | 6065 | 812 | 1,112 | 0,438 | |
| 40 | 218 | 811 | 65 | 4000 | 4080 | 6306 | 844 | 1,157 | 0,876 | |
| 60 | 327 | 1216 | 48 | 4600 | 4680 | 6979 | 934 | 1,280 | 0,438 | |
| 60 | 327 | 1216 | 97 | 4600 | 4680 | 7340 | 983 | 1,346 | 0,876 | |

Legenda dos gráficos



Taxa de desconto de 12% ao ano.

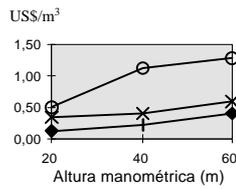


Figura 1

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia, i=12%aa, 7,0 US\$/Wp, 0 km de rede

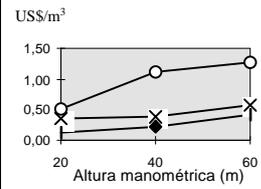


Figura 4

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia, i=12%aa, 4,5 US\$/Wp, 0 km de rede

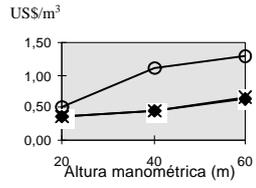


Figura 2

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia, i=12%aa, 7,0 US\$/Wp, 1 km de rede

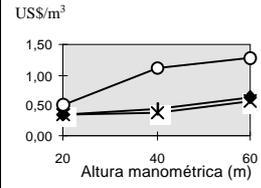


Figura 5

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia, i=12%aa, 4,5 US\$/Wp, 1 km de rede

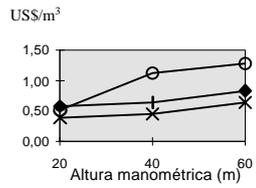


Figura 3

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia, i=12%aa, 7,0 US\$/Wp, 2 km de rede

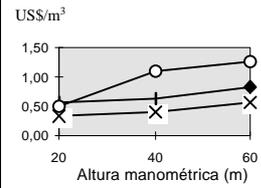


Figura 6

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia, i=12%aa, 4,5 US\$/Wp, 2 km de rede

Taxa de desconto de 6% ao ano.

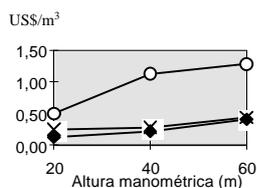


Figura 7

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia,
i=6%aa, 7,0 US\$/Wp, 0 km de rede

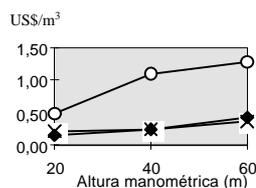


Figura 10

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia,
i=6%aa, 4,5 US\$/Wp, 0 km de rede

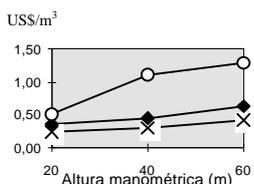


Figura 8

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia,
i=6%aa, 7,0 US\$/Wp, 1 km de rede

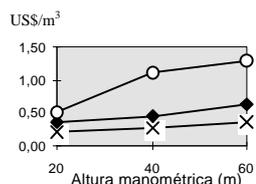


Figura 11

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia,
i=6%aa, 4,5 US\$/Wp, 1 km de rede

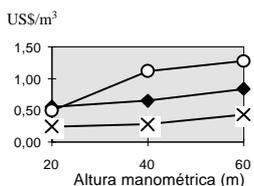


Figura 9

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia,
i=6%aa, 7,0 US\$/Wp, 2 km de rede

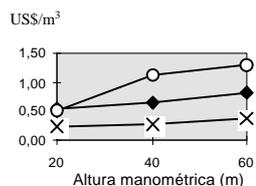


Figura 12

Custo do volume bombeado para 2 m³/dia,
i=6%aa, 4,5 US\$/Wp, 2 km de rede

Para uma melhor interpretação é interessante observar que as figuras de números 1, 2 e 3 apresentam os maiores Custos do Ciclo de Vida dos sistemas fotovoltaicos, com geração a 7,00 US\$/Wp e taxa de desconto de 12% ao ano, representando os parâmetros médios praticados no Brasil atualmente. As figuras de números 4, 5 e 6 apresentam 4,50 US\$/Wp e taxa de desconto de 12% ao ano, o que significa que se utilizou preço do mercado internacional para o gerador, mantendo a taxa de desconto média nacional. Nas figuras de números 7, 8 e 9 tem-se como preço do gerador 7,00 US\$/Wp que é o condizente com o mercado interno e a taxa de desconto de 6% ao ano, que é a proposta como um dos incentivos à disseminação da fotovoltaica no Brasil. As figuras de número 10, 11 e 12 apresentam preço do mercado internacional para o gerador, de 4,50 US\$/Wp e a taxa de desconto proposta de 6% ao ano.

Quanto a rede elétrica convencional, a variação dos custos de bombeamento está diretamente relacionada com a distância a que a rede deve ser construída desde “tronco” até o ponto de sua utilização para o bombeamento. Esta variação ocorre de forma crescente respectivamente a 0, 1 e 2 km de distância.

CUSTO DO VOLUME BOMBEADO

Para uma demanda hídrica de 2 m³/dia, foram criados 36 cenários (3 cenários por figura), nos quais a opção fotovoltaica foi a mais competitiva em 58% dos casos, a opção com eletricidade convencional foi a mais competitiva em 25% das vezes e em 17% dos casos estas duas opções se igualaram. A opção a combustão interna, principalmente quando se trata de Diesel, teve os custos de bombeamento mais elevados. Isto se dá principalmente pelos altos custos dos grupos motobomba e por sua curta vida útil. Esta opção torna-se competitiva com requerimentos de potência maiores dos que são apresentados neste trabalho.

CUSTOS ENERGÉTICOS DE EQUILÍBRIO

Custos energéticos de equilíbrio são os custos incrementais unitários que equiparam os custos de bombeamento das opções consideradas, isto é, em quanto o custo unitário do parâmetro em questão (partindo-se de 0,798 US\$/litro da gasolina, de 0,438 US\$/litro do Diesel e 69,00 US\$/MWh da tarifa elétrica), deve aumentar ou diminuir para que se iguale ao custo final de bombeamento da opção considerada. Este seria o “ponto de equilíbrio” dos custos das opções.

Iniciando-se a análise dos custos energéticos de equilíbrio, tem-se que tanto na figura 1 como na 4, a opção com eletricidade convencional foi a mais viável financeiramente para todos os casos. Pormenorizando-se o caso da figura 1, a tarifa elétrica convencional rural pode chegar a 139,00 US\$/MWh e ainda esta opção segue sendo competitiva com a fotovoltaica. Já o preço da gasolina (para altura manométrica de 20 metros) teria que baixar a 0,595 US\$/litro e o Diesel (para altura manométrica de 40 e 60 metros), teria que baixar a 0,178 US\$/litro e 0,223 US\$/litro, respectivamente, para que se iguale aos custos de bombeamento com energia fotovoltaica. Já na figura 4, os preços destes combustíveis deveriam baixar respectivamente a 0,233 US\$/litro, 0,0911 US\$/litro e 0,143 US\$/litro.

Nas figuras 2, 7 e 10, os custos de bombeamento com as opções fotovoltaica e rede elétrica convencional são praticamente equivalentes para as três alturas manométricas, enquanto que as opções a gasolina (altura manométrica de 20 m) e a Diesel (alturas manométricas de 40 e 60 metros) devem ter seus preços unitários bastante reduzidos para alcançar os custos de equilíbrio com as outras opções. Estes preços são os descritos a seguir para cada figura. Na figura 2 os preços devem ser de 0,565 US\$ o litro da gasolina e 0,173 US\$ e 0,214 US\$ o litro do Diesel para as respectivas alturas manométricas. Na figura 5 os preços devem ser de 0,550 US\$ o litro da gasolina e 0,156 US\$ e 0,194 US\$ o litro do Diesel. Na figura 7 os preços devem ser de 0,388 US\$ o litro da gasolina e 0,116 US\$ e 0,145 US\$ o litro do Diesel. E finalmente na figura 10 os preços devem ser de 0,359 US\$ o litro da gasolina e 0,101 US\$ e 0,127 US\$ o litro do Diesel, respectivamente.

Nas figuras 3, 6, 8, 9, 11 e 12, para todas as alturas manométricas, a fotovoltaica foi a opção mais competitiva, em segundo lugar foi com eletricidade convencional e a mais

custosa foi a opção a combustão interna, para que esta última tenha seus custos de bombeamento equivalentes com as demais, deve ter seu preços reduzidos sensivelmente na maioria dos casos.

CONCLUSÕES

A análise financeira dos casos aqui apresentados, proporciona informação para uma primeira aproximação e comparação dos custos de bombeamento com as opções consideradas, e mostra também, como os diversos parâmetros envolvidos interferem nos custos finais dos projetos. Ou seja, não pode-se dizer a simples vista que um sistema de bombeamento é mais apropriado do que o outro porque utiliza uma ou outra tecnologia, deve sim, ser feito um estudo de todas as possibilidades e variáveis existentes localmente, segundo os parâmetros envolvidos e as condições específicas de cada situação.

Pode-se concluir da análise realizada, que o potencial de utilização da tecnologia de bombeamento com energia solar fotovoltaica para o abastecimento unifamiliar ou para demanda equivalente, não é desprezível. Não deve mais ser considerada como uma “tecnologia do futuro”, e sim como uma opção que pode ter um papel relevante no suprimento de água às populações isoladas espalhadas por todo o país e pelo mundo. No entanto, determinação exata de tal potencial é de difícil apreciação em um estudo preliminar como este, no entanto, mas em função dos parâmetros utilizados, pode-se ter uma idéia aproximada da opção mais indicada para cada situação específica.

Para os cenários em questão, observa-se que de um modo geral, quando existe a rede elétrica no local, esta é a opção mais indicada. Em oposição a isso, quanto menor e mais distante da rede tronco for a localidade, tanto mais favorável à opção fotovoltaica será. Observa-se também que, quando são aplicados os preços do mercado internacional e taxas de desconto de 6% ao ano, a opção solar fotovoltaica tem maiores chances de ser a mais indicada, inclusive para grandes demandas energéticas, principalmente quando há acréscimo nos custos dos combustíveis e na tarifa elétrica em função das distâncias [7].

Em virtude disso, propõe-se como medidas incentivadoras à disseminação da tecnologia solar fotovoltaica no Brasil, a redução das taxas de importação para os módulos geradores e a redução das taxas de juros aplicadas a projetos desta natureza. Outra medida incentivadora está relacionada com o conhecimento das possibilidades desta tecnologia, e para tanto sugere-se um companhia de divulgação a nível nacional.

REFERÊNCIAS

- [1] - Relatório Banco Mundial 1994.
- [2] - *The economist, The Future of Energy; October 7th 1995*, pp 23-26.
- [3] - DUTT, G. S. *Techniques for End-Use Electricity Analysis and Conservation Program Desing 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, june 1992.*
- [4] - LARSON, E. D. et al. *The Technology Menu for Efficient End Use of Energy, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Lund, vol.1, Sweden, 1989.*
- [5] - GRUNDFOS, *Domestic Water Supply, Grundfos International Education Center, Bjerringbro, Denmark, 1988.*
- [6] - PRODEEM NUAD **Concorrência Internacional do CI-001/96 e MME/DNDE 001/97**
- [7] - FEDRIZZI, M.C. **Fornecimento de Água com Sistemas de Bombeamento Fotovoltaicos: Dimensionamento Simplificado e Análise de Competitividade para Sistemas de Pequeno Porte.** Dissertação de Mestrado Apresentada no Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, dezembro 1997.