

ANÁLISE DA GESTÃO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Albemerg Moura de Moraes¹, Federico Morante², Luis Roberto Valer³ e Maria Cristina Fedrizzi³

¹ Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar (GIPES). Universidade Federal do Piauí (UFPI) – Teresina, Piauí. Tel. +55 89 994158967 – E-mail albemerg@ufpi.edu.br

RESUMO: Este trabalho apresenta resultados de pesquisas de campo em diversas localidades do Semiárido brasileiro onde foram instalados Sistemas de Bombeamento Fotovoltaico (SBFs). Por meio da observação *in loco*, de questionários e entrevistas com lideranças e usuários, foram coletados dados relacionados com a operação e gestão desses sistemas. Com base nos dados obtidos, o presente artigo tem como objetivo mostrar os principais entraves ao sucesso dos SBFs instalados nessa região. Adicionalmente, utilizando a literatura referente a projetos similares implantados em diversos países, se discutem as possíveis formas de superar essas barreiras.

Palavras chave: Sistemas de Bombeamento Fotovoltaico; Semiárido brasileiro; Manutenção e operação.

INTRODUÇÃO

A água é primordial à sobrevivência humana, sem ela não há vida no planeta devendo, por esse motivo, ser acessível a todos. Num sentido mais amplo: “o ser humano necessita de água limpa e saneamento para preservar a saúde e manter sua dignidade” (UNDP, 2006). O Brasil é um dos países com maior disponibilidade hídrica do planeta, porém, a distribuição desse vital recurso não é igual em todas as regiões do país. Assim por exemplo, na região Nordeste se encontra estabelecida 30% da população do Brasil e seu território representa 18% do total, no entanto, possui apenas 3% das águas doces renováveis do país (Veiga e Magrini, 2013).

O denominado Semiárido brasileiro, objeto do presente estudo, fica na região Nordeste do país. Abrange uma área de 969.589,4 km² e compreende 1.133 municípios de nove estados do Brasil: Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (figura 1).

Um dos maiores problemas desta região é o fenômeno das secas que acontecem periodicamente com suas consequências visíveis na escassez de água, de alimentos e no agravamento da pobreza da população rural (World Bank, 2001). Por causa deste fenômeno natural milhares de habitantes ainda padecem com a falta de água potável que, em muitos casos, está associada também à indisponibilidade de energia elétrica. As secas no Semiárido têm uma longa história sendo que o primeiro registro em documentos portugueses é do ano de 1552 (Villa, 2001). Entre 2012 e 2013, por exemplo, esta região foi acometida por uma das estiagens mais severas das últimas décadas. Como ação emergencial o governo brasileiro destina recursos financeiros para levar água às comunidades carentes utilizando veículos motorizados.

¹ GIPES – Universidade Federal do Piauí.

² Universidade Federal do ABC.

³ Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo.

Cabe mencionar que nos últimos anos a situação de exclusão elétrica mudou de forma positiva, devido fundamentalmente a ações governamentais como o Programa Luz Para Todos (Obermaier, 2012). Com isso o índice de eletrificação rural tem aumentado substancialmente, mas ainda há habitantes de regiões remotas que não tem acesso à energia elétrica por dificuldades geográficas e econômicas, dentre outras (Zerriffi, 2008).



Figura 1: Abrangência do Semiárido brasileiro (ANA/MIN, 2015).

Essa realidade, aliada à carência de oportunidades laborais e à estiagem prolongada, faz com que muitos dos habitantes que vivem da subsistência do campo migrem para os grandes centros urbanos. No entanto, a região possui um enorme potencial de energia solar que possibilita o uso da tecnologia fotovoltaica de forma eficaz (Tiba *et al.*, 2002); (Tiba *et al.*, 2004).

As primeiras aplicações da tecnologia fotovoltaica são da década de 1950, no entanto o bombeamento fotovoltaico somente se deu de forma comercial em 1978, na Ilha de Córsega (Fedrizzi & Sauer, 2002). No Brasil em 1981 a empresa Heliodinâmica instalou o primeiro SBF no município de Caicó, no estado de Rio Grande do Norte (Varella *et al.*, 2009). Nessa década na região do Semiárido brasileiro também foram implantados diversos projetos piloto utilizando bombeamento fotovoltaico para irrigação. Estes sistemas tinham potência nominal entre 400 e 600 Wp e foram instalados nos estados de Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Bahia (Fraindenraich *et al.*, 2006). Embora a viabilidade técnica desses empreendimentos fosse confirmada, por causa dos custos elevados dos equipamentos fotovoltaicos da época, essas iniciativas foram abandonadas com a finalidade de atender necessidades mais urgentes.

Na década de 1990 os preços diminuíram e o bombeamento fotovoltaico foi retomado principalmente para fornecer água a comunidades rurais. Em dezembro de 1994, por meio de um Decreto Presidencial, o governo brasileiro instituiu o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, PRODEEM (Galdino e Lima, 2002). Mediante este programa foram implantados sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica em escolas e postos de saúde da zona rural, sistemas de iluminação pública e sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água. Com relação a esta última aplicação, a tabela 1 mostra a quantidade de SBFs instalados pelo PRODEEM nas fases I, II, III, emergencial e IV.

Fase	I	II	III	Emergencial	IV	Total
Quantidade	54	179	176	800	1.240	2449
kWp	78	211	135	235	696	1355

Tabela 1: Sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados pelo PRODEEM (Galdino e Lima, 2002).

A fase emergencial ocorreu devido a uma seca de grandes proporções em 1998 que incluiu a aquisição de 800 sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água. Para instalar os sistemas foi criado o programa de Treinamento de Instaladores de Sistemas de Bombeamento de Água Fotovoltaico que

treinou 145 técnicos, os quais instalaram 86% dos sistemas destinados a essa região (Barbosa *et al.*, 2000). Os SFBs implantados pelo PRODEEM tinham o objetivo de fornecer água para consumo humano e animal, e também para irrigação de pequeno porte.

Na época houve diversas avaliações que mostraram as múltiplas falhas do PRODEEM. Assim por exemplo, um estudo sobre a eletrificação rural promovido pelo Banco Mundial (ESMAP, 2005) indica que esse programa foi uma ação governamental centralizada cujos principais problemas estão relacionados a uma abordagem vertical, falta de um fundo para manutenção e substituição de equipamentos, ausência de responsabilidades das comunidades locais com os equipamentos implantados e não existência de articulação com programas de expansão da rede. Além disso, vários problemas operacionais e técnicos assolaram o PRODEEM ao longo de sua existência, causados em sua maioria por inadequações de projeto, baixa experiência dos instaladores, manuais dos equipamentos de difícil compreensão, deficiente assistência técnica, dificuldade para obtenção de baterias e peças para reposição, não participação dos usuários no processo de introdução da nova tecnologia, dentre outras (Moraes, 2013).

Após o PRODEEM, não se tem notícia da implantação de grande quantidade de sistemas fotovoltaicos de bombeamento no Semiárido brasileiro. Os posteriores empreendimentos basicamente estão ligados em sua maioria a instituições não governamentais. A grande exceção foram as iniciativas da Companhia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos da Bahia (CERB) que até 2014 implantou cerca de 122 SFBs (CERB, 2014); (Fedrizzi & Sauer, 2002). A tabela 2 mostra algumas dessas iniciativas as quais foram identificadas por meio de trabalho de campo e através de pesquisa bibliográfica.

Instituições ou projetos	Estado	Nº de SFBs instalados
IDER ^a	Ceará	73
Instituto Agropolos	Ceará	5
Coelce	Ceará	1
Ecoengenhó ^b	Alagoas	105
Instituto Xingó ^c	Sergipe/Alagoas	3
FUMDHAM	Piauí	5
FUNDED/PRODEEM ^b	Piauí	10
Diocese de Floriano	Piauí	10
Instituto Piauí Solar	Piauí	1
Prefeituras Municipais	Piauí	8
Sistemas particulares	Piauí	3
Canindé Solar	Piauí	10
Exército	R. G. do Norte	1
NAPER	Pernambuco	30
Celpe (P&D)	Pernambuco	7
IPA ^d	Pernambuco	1
Projeto Eldorado	Pernambuco	15
Adapta Sertão	Bahia	9
EMEPA	Paraíba	3
CERB ^e	Bahia	122
TOTAL		322

Tabela 2: SFBs implantados no Semiárido por algumas instituições promotoras.

^a Estimativa.

^b Incluindo os SFB implantados no âmbito do PRODEEM.

^c Instituição extinta.

^d Instituto Agrônômico de Pernambuco.

^e Companhia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos da Bahia.

Fonte: Pesquisas de campo; (Fedrizzi & Sauer, 2002); (CERB, 2014); (Costa *et al.*, 2006); (Valer, 2011); (Moraes, 2013); (Barbosa *et al.*, 2002); (Moraes, 2015).

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo mostrar os principais entraves ao sucesso dos SFBs instalados no Semiárido brasileiro. Com base em dados coletados em pesquisa de campo em diversas localidades rurais e na literatura existente sobre projetos similares implantados em diversos países, discute-se formas de superar as barreiras aplicando boas práticas na implantação e gestão destes sistemas.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada em 17 municípios do Semiárido brasileiro pertencentes a 5 estados: Piauí (PI), Ceará (CE), Pernambuco (PE), Alagoas (AL) e Sergipe (SE). No total foram visitados 34 SFBs instalados no âmbito de projetos desenvolvidos por 14 instituições de caráter governamental, não governamental, concessionárias e instituições ligadas a igrejas. A potência instalada dos sistemas pesquisados é de aproximadamente 21,4 kWp. A metodologia utilizada baseou-se na aplicação de questionários e realização de entrevistas a lideranças e usuários. Através dessa metodologia buscou-se reconhecer a percepção dos atores locais, de forma a fazer um diagnóstico da situação atual dos sistemas tendo em vista sua autonomia e operacionalidade, e levando em consideração peculiaridades locais. Na tabela 3 se encontra a relação dos sistemas visitados e suas principais características.

Nome da comunidade	Município	Instituição promotora	Ano de Instalação	Situação do SFB	Potência (Wp)
Fósforo	Jurema (PI)	FUMDHAM	2009	operativo	360
Lagoa Funda	Várzea Branca (PI)	FUMDHAM	2010	operativo	360
Capim	Guaribas (PI)	FUMDHAM	2009	operativo	360
Barreiro	Guaribas (PI)	FUMDHAM	2009	operativo	360
Cabaceiro	Floriano (PI)	Diocese Floriano	2008	operativo	360
B. Entrada	Floriano (PI)	Diocese Floriano	2008	operativo	450
Poço do Peixe	Floriano (PI)	Diocese Floriano	2007	operativo	450
Betânia	Floriano (PI)	Diocese Floriano	2010	operativo	540
Uica	Floriano (PI)	Diocese Floriano	2008	operativo	520
Morro do Tiro	Floriano (PI)	Diocese Floriano	2007	operativo	450
Boca da Vereda	Oeiras (PI)	PRODEEM	2000	desativado	555
Sítio Baixas	São João da Tapera (AL)	PRODEEM	2006	desativado	-
Pinga Flor	Cajazeiras (PI)	PRODEEM	2006	operativo	480
Retiro (aterro)	Cajazeiras (PI)	FUNASA	2007	operativo	600
Mangabeira	Santa Rosa (PI)	PRODEEM	2004	operativo	450
Gleba Solta	Oeiras (PI)	Particular	2011	operativo	300
Vista Rara	Oeiras (PI)	Particular	2011	operativo	300
Mina	Santa Cruz do Piauí	Particular	2010	operativo	135
Angicos	Canindé São Francisco (SE)	Instituto Xingó	2002	desativado	1.200
Sítio Trairas	Pão de Açúcar (AL)	Ecoengenho	2006	desativado	1.600
Iap./Vaquejador	Granja (CE)	Inst.Agropolos	2008	operativo	405
Poço Grande	Quixeramobim (CE)	Coelce	2010	operativo	1.000
Bom Jesus	Itapipoca (CE)	IDER	2004	desativado	1.836
B. do Córrego	Itapipoca (CE)	IDER	2004	desativado	-
Jatobá de Cima	Serra Talhada (PE)	CELPE	2014	paralisado	600
Carnaúba	Serra Talhada (PE)	CELPE	2014	operativo	900
Lagoinha	Serra Talhada (PE)	CELPE	2014	operativo	900
Papagaio	Serra Talhada (PE)	CELPE	2014	operativo	1.800
Paus Pretos	Serra Talhada (PE)	CELPE	2014	operativo	1.800
Serrinha	Serra Talhada (PE)	CELPE	2014	operativo	1.800
Bom Sucesso	Afogados Ingazeira (PE)	NAPER Solar	2000	paralisado	120
Pass. da Cobra	São José Egito (PE)	NAPER Solar	2002	desativado	120
Barreiros	São José Egito (PE)	NAPER Solar	2004	desativado	135
Brejo Carapuça	Afogados Ingazeira (PE)	Diaconia	2011	operativo	130
Potência total					21.376

* Potência não identificada

Tabela 3: Relação dos SFBs pesquisados e suas principais características.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados coletados em campo mostrou que 59 % dos sistemas visitados retiram água de poços tubulares e os demais de outras fontes incluindo rios, lagoas, riachos, cisternas, piscinas, cacimbas e poços amazonas (cacimbão), conforme ilustra a figura 2.

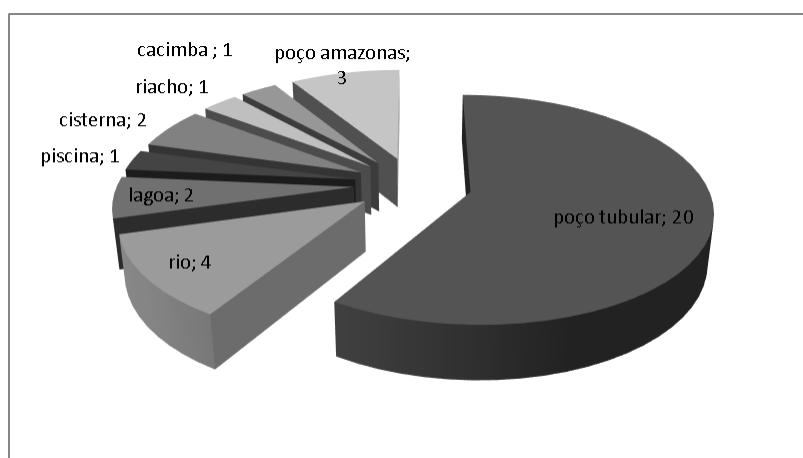


Figura 2: Quantidade de SFBs pesquisados por fonte de água.

Em apenas 25% dos casos pesquisados existem indícios que a comunidade participou ativamente do processo de implantação. Sua participação ocorreu de forma mais intensa nos projetos realizados por instituições especializadas na difusão de sistemas fotovoltaicos. Também foi verificado que em 75% dos casos existia uma pessoa responsável pela manutenção, normalmente a própria instituição que instalou ou a empresa contratada para essa finalidade. Porém, após o término da vigência do projeto essas instituições, em geral com sede na capital do estado, não executavam mais a manutenção e reposição de peças e o sistema tendia a ficar inoperante. Mesmo assim, foi praticamente unânime a aprovação dos benefícios dos SFBs, especialmente quanto à qualidade do fornecimento de água e a não dependência de energia elétrica da rede ou combustíveis.

Em mais de 50 % dos casos, que equivale a 21 SFBs, houve algum problema que comprometeu de alguma forma o bom funcionamento do sistema. Desses, a motobomba foi o componente que mais apresentou problema (48 %), conforme a figura 3. Em muitos casos, esse fato relaciona-se ao término da vida útil desse dispositivo. Observa-se ainda que mais de 40% dos sistemas pesquisados eram utilizados para fins produtivos, especialmente a produção agrícola familiar, conforme figura 4. Além disso, em quase 80% dos sistemas pesquisados utilizavam motobombas importadas específicas para aplicação fotovoltaica.

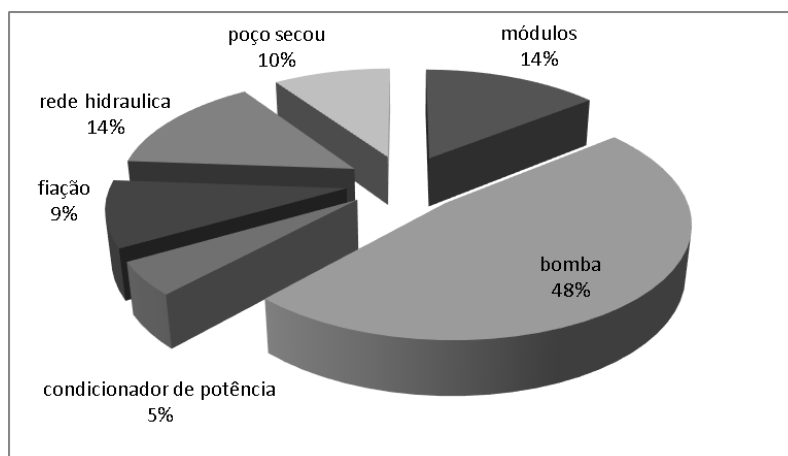


Figura 3: Principais problemas identificados na pesquisa.

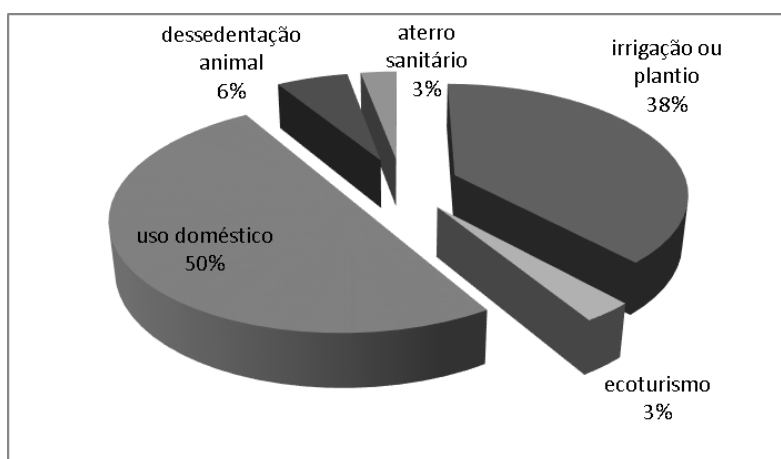


Figura 4: Finalidade do uso da água dos SFBs pesquisados.

A pesquisa mostrou também que 26% dos SFBs visitados estavam inoperantes. Isso ocorreu, principalmente, devido à falta de recursos para a substituição de componentes, especialmente a motobomba, após o término da vigência da implantação e acompanhamento do projeto. A falta de mercado próximo para a venda de componentes e de mão de obra especializada são outros aspectos apontados pelos usuários como possíveis causas do desativamento dos sistemas. Nas tabelas 4 e 5 se encontra um resumo dos principais problemas identificados.

Problemas identificados	Comentários
Substituição das motobombas	<ul style="list-style-type: none"> - A substituição das motobombas é um dos grandes problemas existentes nos projetos analisados, pois o mercado relacionado com o bombeamento fotovoltaico ainda é pouco desenvolvido no Brasil e de maneira mais acentuada na região Semiárida. Isso obriga a importar o produto muitas vezes por meio de empresas especializadas, em geral, localizadas na região sudeste do Brasil. - O custo de uma motobomba solar disponível no mercado nacional pode ser 5 vezes superior ao custo de uma motobomba convencional de fabricação nacional.
Manutenção dos sistemas e ausência de mão de obra especializada	<ul style="list-style-type: none"> - Verificou-se ausência de planejamento para realizar procedimentos básicos de manutenção preventiva e corretiva, associado à falta de mão de obra especializada. - Nas localidades onde os projetos foram implantados não há técnicos capacitados para resolver as falhas dos sistemas o que obriga a que esses técnicos venham de outras regiões. Assim, a formação de mão de obra especializada no Semiárido brasileiro deve ser considerada como um estratégico objetivo.
Dificuldades de intercâmbio de informações e dimensionamento dos sistemas	<ul style="list-style-type: none"> - Existem poucas informações relacionadas com os SFBs existentes no Semiárido e, além disso, há limitada troca de informações entre as entidades executoras de projetos o que conduz à repetição de erros. - Por falta de informação relacionada com a hidrogeologia dos poços, necessidades dos usuários e o desempenho real em campo das motobombas, alguns dos sistemas analisados foram dimensionados de forma inadequada. - A padronização de uma mesma configuração de sistema para diversas comunidades foi outro problema identificado, ficando em evidência a importância de considerar as peculiaridades locais durante o planejamento dos projetos.
Instituições executoras distantes dos locais de aplicação dos projetos	<ul style="list-style-type: none"> - A maior parte das entidades executoras dos projetos de SFBs analisados tem sede em centros urbanos distantes dos locais de instalação, o que gera dificuldades logísticas para o reparo das avarias e o monitoramento dos sistemas em campo. - Muitos dos problemas encontrados não estão diretamente relacionados com a tecnologia fotovoltaica, mas com a qualidade da execução das obras civis e da rede hidráulica. Assim, a realização de parcerias com instituições próximas aos locais de instalação é um aspecto que pode maximizar o sucesso dos empreendimentos.

Tabela 4: Problemas técnicos e operacionais identificados nos projetos analisados.

Problemas identificados	Comentários
Planejamento, gestão e financiamento dos projetos	<ul style="list-style-type: none"> - Falta planejamento para a reposição de equipamentos, pois muitos dos sistemas foram doados ou cedidos temporariamente aos beneficiários, não existindo plano de contingência para a substituição em caso de avarias. Quando os recursos financeiros do projeto acabam os usuários não conseguem viabilizar reparos ou substituições de componentes do sistema. - A organização de um fundo para reposição de equipamentos por meio de cobrança da água utilizada evidenciou-se muito complexa, visto que não existe essa prática na região e ao fato de que há uma forte dependência das comunidades em relação ao poder público e entidades assistencialistas.
Dificuldade no desenvolvimento de projetos produtivos comunitários	<ul style="list-style-type: none"> - Devido às limitações técnicas e orçamentárias dos projetos, muitos dos SFBs não conseguem atender plenamente a demanda hídrica requerida por certas culturas ou tipos de produção. - Nos projetos destinados a atividades produtivas comunitárias mediante agricultura irrigada observou-se a dificuldade do trabalho coletivo, pois embora existam associações de produtores, nem todos os integrantes conseguem trabalhar em conjunto sendo comum a ocorrência de conflitos e desistências. - Nesse contexto, é importante realizar treinamentos dirigidos tanto para o aprendizado da tecnologia fotovoltaica quanto à capacitação em tecnologia agrícola e gestão com a finalidade de fortalecer as associações de produtores.
Qualidade da água	<ul style="list-style-type: none"> - A quantidade e qualidade da água são outros pontos fundamentais que devem ser levados em conta, pois muitos dos poços perfurados no Semiárido têm água com altas concentrações de sais, o que as tornam impróprias para o consumo humano, animal e irrigação. - Por falta de alternativa esse tipo de água continua sendo utilizada por muitas pessoas o que pode ser resolvido utilizando dessalinizadores de água por meio de osmose reversa. No entanto, caso se utilize essa tecnologia, devem-se considerar os riscos das pessoas ingerirem água sem o mínimo de sais minerais para o organismo. Além disso, o processo de dessalinização produz grande quantidade de água residual contendo altas concentrações de sais, o que deve ter uma destinação adequada.
Aspectos socioculturais	<ul style="list-style-type: none"> - Os projetos analisados mostram a importância de se conhecer a realidade sociocultural das comunidades, pois cada uma possui suas peculiaridades e anseios sendo fundamental a observância desses aspectos para otimizar as chances do sucesso dos projetos. - A introdução da tecnologia fotovoltaica para acesso à água nas comunidades rurais do Semiárido é bastante complexa, pois além das peculiaridades locais existe forte dependência do poder público e dificuldades no trabalho coletivo.

Tabela 5: Problemas de gestão e socioculturais identificados nos projetos analisados.

As avaliações do desempenho dos SFBs instalados no Semiárido brasileiro desde a década de 1980 evidenciam detalhes que também foram constatados em outros países. Os múltiplos aspectos analisados através dessas avaliações mostram a complexidade da problemática do bombeamento fotovoltaico de água que varia de um país para outro. É possível verificar que os problemas apresentados em outros lugares do mundo não são tão diferentes daqueles identificados no semiárido brasileiro (tabelas 4 e 5), tais como apresentados por Cota *et al.* (2004) no México, por Kaunmuang *et al.* (2001) na Tailândia, por Meah *et al.* (2008) nos Estados Unidos, por Narvarte & Lorenzo, (2010) no Marrocos, dentre outros.

Transferência tecnológica

Como pode ser observado nas informações sumarizadas nas tabelas 4 e 5, existem diversas questões que podem conduzir ao sucesso ou fracasso dos empreendimentos de bombeamento de água fotovoltaico. O uso desses sistemas já é realizado por várias décadas (Gopal, 2013) e chama a atenção que atualmente ainda persistam muitos dos problemas detectados em diversos empreendimentos como demonstra o caso dos sistemas existentes no Semiárido brasileiro. De tudo isso fica claro que

duas questões são chave para garantir a operacionalidade dos projetos: a gestão e manutenção dos sistemas implantados. Atrélado ao tema da manutenção se encontra a qualidade dos equipamentos utilizados e das instalações realizadas (Narvarte *et al.*, 2006). Deve-se ressaltar que a problemática da manutenção não é exclusiva dos SBFs, também atinge os Solar Home Systems (SHSs) instalados pelo mundo (Nieuwenhout *et al.*, 2001); (Díaz *et al.*, 2013).

No caso do Semiárido brasileiro, para definir a gestão dos SBFs é necessário elucidar, em primeiro lugar, sobre sua inserção em um meio rural onde as pessoas geralmente são de baixa renda, com pouca ou nenhuma escolaridade, que vivem em lugares remotos, em moradias dispersas e de difícil acesso com grandes distâncias a serem percorridas, isto é, longe dos centros de apoio técnico. Dentro da complexidade do conceito de “tecnologias apropriadas” cabe analisar então se os SBFs cumprem as condições para serem considerados como tal.

Um SBF é complexo, pois além da inerente dinâmica da fonte de água, existem diversos componentes como módulos fotovoltaicos, quadro elétrico de controle, inversor, motobomba, cabos e acessórios elétricos, reservatório de água, rede hidráulica de abastecimento que inclui tubos e conexões, hidrômetros, etc. Portanto, um sistema dessa natureza dificilmente poderá satisfazer todos os requisitos de uma “tecnologia apropriada” (Short e Thompson, 2003); (Short, 2007). Como consequência disso, para garantir sua operacionalidade deverão ser levadas em conta os diversos fatores que podem influenciar no seu funcionamento como o planejamento do projeto, a avaliação dos recursos hídricos, a configuração técnica, a determinação da demanda de água, a introdução da nova tecnologia e a gestão (Fedrizzi *et al.*, 2009).

Determinantes do sucesso na implantação de SFBs

De tudo o que foi exposto pode ser inferido que não existe um modelo único que garanta o sucesso de empreendimentos de abastecimento de água a comunidades rurais baseados na tecnologia fotovoltaica. Cada localidade possui uma realidade própria e a dinâmica e os anseios das populações variam consideravelmente mesmo em locais próximos. Assim, não considerar as peculiaridades locais e processos adequados de introdução e manutenção da nova tecnologia desde a concepção do projeto, aumenta significativamente as chances de fracasso de um empreendimento (Fedrizzi *et al.*, 2009). O PRODEEM é um exemplo que ilustra esta afirmação (Galdino e Lima, 2002); (ESMAP, 2005).

Alguns autores tem destacado que tecnologias energéticas bem consolidadas, como a solar fotovoltaica, não atingem níveis satisfatórios de sucesso em contextos rurais (Lorenzo *et al.*, 2005). Dentre os principais motivos pode-se citar a não consideração da adaptação tecnológica à realidade local e as formas alternativas de abastecimento pré-existentes. Um segundo motivo é não levar em conta questões intrínsecas à dinâmica da população local. Portanto, não existem soluções padronizadas. Mais importante do que o tipo de tecnologia é o respeito às especificidades locais na hora de conceber, implantar e manter os sistemas.

Disso tudo se depreende que a elaboração, instalação e acompanhamento de SBFs deveriam ser realizados por uma equipe interdisciplinar, com a finalidade de otimizar a satisfação dos usuários de forma a permitir uma melhor adaptação à nova tecnologia e maximizar as chances de sucesso. É importante também estabelecer, desde o início do projeto, quem será responsável pelo funcionamento, a manutenção e a substituição de equipamentos. Não considerar uma política adequada de gestão da nova tecnologia poderá resultar no insucesso desse empreendimento.

Com relação a essa importante questão, a análise de diversos projetos de eletrificação rural baseados em fontes renováveis de energia levou a apontar algumas diretrizes para gestão dos empreendimentos (Seifer, 2012). Nesse estudo são estabelecidos nove estágios que podem maximizar as chances de sucesso dos empreendimentos. Neste caso “será considerada como bem sucedida a infraestrutura que atingiu a autonomia com relação ao interventor e ainda proporcionou aos indivíduos da comunidade atendida benefícios ao seu bem-estar” (Seifer, 2012).

Uma importante questão que também deve ser observada na gestão desses sistemas nas comunidades rurais é a relação entre gênero e água (Short e Thompson, 2003). São as mulheres que realizam as tarefas domésticas e velam pela manutenção da higiene da mesma (Posorski, 2003). Portanto, considerar o papel da mulher no desenvolvimento do projeto é fundamental para não interferir negativamente na cultura e valores da comunidade. Já os homens, normalmente, ficam responsáveis pela manutenção e operação do sistema.

Arranjos institucionais

A partir da análise das diversas experiências de bombeamento fotovoltaico mencionadas no presente estudo, fica em evidência a necessidade de contar com um arranjo institucional eficaz para gerir a operacionalidade dos projetos durante toda sua vida útil. Quando existe uma instituição local especializada em tecnologia fotovoltaica que possa realizar a manutenção, seja uma empresa privada ou de caráter governamental, os problemas técnicos podem ser mais facilmente solucionados de forma rápida e sustentável.

A grande maioria dos projetos visitados no Semiárido brasileiro são executados por instituições esporádicas especializadas. Embora possuam equipe técnica especializada na aplicação fotovoltaica, suas sedes são, em geral, localizadas nas capitais dos estados distantes da aplicação dos projetos. Além disso, não contam com a logística necessária para trabalhos em campo por períodos longos. Devido à localização dispersa das comunidades o processo de manutenção corretiva, além de oneroso, pode ser demorado provocando sérias consequências às populações atendidas. Além disso, após o término dos recursos financeiros essas instituições costumam deixar de atuar na região abandonando os projetos. Tal como as experiências de implantação de SBFs em Marrocos (Narvarte *et al.*, 2005); (Narvarte e Lorenzo, 2010) e na região do Sahel (Shanker, 2003) o demonstram, é praticamente um imperativo realizar parcerias com instituições especializadas locais ou consolidadas, sejam governamentais, não governamentais ou de caráter privado. Estas instituições, além de conhecer a realidade local, podem fornecer peças e acessórios de reposição de forma rápida, além de apoiar na manutenção e assistência técnica dos sistemas.

CONCLUSÕES

No presente artigo foi investigado os principais entraves ao sucesso dos SBFs instalados no Semiárido brasileiro, bem como discutiu-se formas de superar esses entraves aplicando boas práticas na implantação e gestão destes sistemas. Para isso, levou-se em consideração pesquisas de campo realizadas na região e a revisão da literatura especializada, especialmente em outros países do mundo. Deve salientar que a amostra dos projetos pesquisada não foram analisados estatisticamente.

Observou-se que o problema do acesso à água no Semiárido brasileiro vai muito além da simples extração, portanto, devem-se considerar no processo de introdução de uma nova tecnologia os seguintes aspectos: continuidade no fornecimento; qualidade da água; condições sanitárias adequadas; gestão e operação dos sistemas; aspectos socioeconômicos e culturais; aspectos técnicos; introdução da tecnologia; sistemas pré-existentes; infraestrutura hidráulica e recursos hídricos disponíveis.

Em muitos casos, as comunidades a serem beneficiadas estão localizadas em lugares remotos e de difícil acesso, dessa maneira, quando não existe uma política adequada de manutenção/gestão dos equipamentos e o sistema deixa de funcionar a população é quem paga o alto preço de ficar sem água. Sabe-se que não existem soluções padronizadas para o problema de abastecimento de água para populações rurais. Entretanto, um profundo conhecimento desse problema, de seus aspectos pré-existentes, além dos aspectos socioculturais e econômicos que envolvem a comunidade, é fundamental para o sucesso de implantação e manutenção de qualquer tecnologia voltada à promoção do acesso à água.

Nesse âmbito, observou-se através desta pesquisa o grande potencial da tecnologia fotovoltaica no acesso à água em comunidades rurais dispersas do Semiárido brasileiro. Diversas iniciativas possibilitaram a disponibilidade hídrica tanto para uso doméstico quanto para fins produtivos. Em geral, todos os projetos pesquisados tiveram importantes impactos positivos durante o tempo em que se mantiveram em operação.

Experiências ao redor do mundo demonstram a importância das boas práticas na utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para o abastecimento de água em comunidades rurais dispersas. No entanto, verificou-se que no Semiárido do Brasil muitas iniciativas não lograram o êxito esperado em função da saída dos agentes interventores/idealizadores dos projetos. Desse modo, a pesquisa revela os seguintes principais entraves ao sucesso de empreendimentos de abastecimento de água no Semiárido brasileiro:

- Ausência de uma política de manutenção e gestão dos sistemas;
- Falta de mão de obra especializada local para a realização de serviços de manutenção;
- Dificuldade de encontrar peças para reposição no mercado local;
- Falta de autonomia das comunidades para manter os sistemas após o fim dos recursos dos projetos e saída da instituição interventora;
- Ausência de parcerias com instituições locais;
- Não realização de processo adequado de transferência tecnológica;
- Dificuldades no desenvolvimento de projetos produtivos coletivamente;
- Falhas nos arranjos institucionais na implantação e gestão.
- Dificuldade em desenvolver ações coletivas e da criação de um fundo para manutenção e substituição futura de componentes;
- Forte dependência da população envolvida do poder público e entidades assistenciais;

Pode-se dizer, portanto, que as iniciativas realizadas no Semiárido brasileiro não propiciaram condições adequadas para uma ampla difusão dos SFBs. Em outras palavras, persistem as falhas nos arranjos institucionais para sua implantação e gestão, especialmente por não considerarem formas de possibilitar a autonomia dessas comunidades após a saída dos agentes interventores. Em contrapartida, os aspectos positivos observados indicam alguns caminhos a serem seguidos para uma melhor difusão dessa tecnologia:

- Desenvolvimento de um amplo programa de capacitação e formação de mão de obra em tecnologia fotovoltaica;
- Capacitação em gestão de projetos incluindo a constituição de arranjos instituições locais aproveitando as organizações existentes na região;
- Implantação de unidades demonstrativas e intercâmbio de experiências;
- Realização de um amplo programa governamental de incentivo aos SBFs;
- Criação de mecanismos de financiamento ao pequeno produtor, específicos para SBFs.

REFERÊNCIAS

- ANA/MIN. Agência Nacional de Águas, ANA e Ministério da Integração Nacional, MIN, 2015.
- Barbosa, E. M. S; Tiba C.; Carvalho, M. A. P.; Junior, R. P. S; Souza, E.V.; Oliveira, M.A.M. Programa Xingó: atividades de inserção das tecnologias energéticas renováveis. 4º Encontro Energia no Meio Rural, AGRENER 2002.
- Barbosa, E.M.S; Tiba, C; Salviano, C.J.C; Carvalho, A.M; Lyra, M.F. Photovoltaic water pumping systems installer training: a partnership experience between the university and São Francisco hydroelectric power plant. *Renewable Energy*. 2000; 21: 187-205.
- CERB. Relatório de Gestão 2007/2014. Companhia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos da Bahia. Salvador, 2014.
- Costa, H.S., Araújo K, Neto GC. “Água do sol” – uso da energia solar fotovoltaica na pequena irrigação de base familiar no Semiárido brasileiro. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 2006; 10: 04.33-04.40.

- Cota, A. D, Foster, R. E, Gómez, L.M.; Ross, M.P.; Hanley, C. J; Gupta, V. P.; Montúfar, O.; Romero, A. Ten-year reliability assessment of photovoltaic water pumping systems in Mexico. *Solar* 2004, American Solar Energy Society, Portland, Oregon, 2004; 1: 113-118.
- Díaz, P. Arias, C. A.; Gomez-Gonzales M, Sandoval D, Lobato R. Solar home system electrification in dispersed rural areas: a 10-year experience in Jujuy, Argentina. *Progress in Photovoltaic: Research and Applications*. 2013; 21: 297-307.
- ESMAP. Brazil Background Study for a National Rural Electrification Strategy: aiming for universal access. Energy Sector Management Assistance Program, ESMAP. Washington, DC, 2005.
- Fedrizzi, M. C.; Ribeiro, F. S.; Zilles R. Lessons from field experiences with photovoltaic pumping systems in traditional communities. *Energy for Sustainable Development*. 2009; 13: 64-70.
- Fedrizzi, M.C.; Sauer, I.L. Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos. 4º Encontro Energia no Meio Rural, AGRENER 2002.
- Fraindenraich, N.; Bione, J.; Vilela, O. C.; Implantação de culturas irrigadas com sistemas de bombeamento fotovoltaico na região semi-árida do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 2006; 11:183-190.
- Galdino, M.A.; Lima, J. H. G. PRODEEM – The brazilian programme for rural electrification using photovoltaics. RIO 02 World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, 2002; 1: 77-84.
- Gopal, C.; Mohanraj, M.; Chandramohan, P.; Chandrasekar, P. Renewable energy source water pumping systems – A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013; 25: 351-370.
- Kaunmuang, P; Kirtikara K.; Songprakorb, R.; Thepa, S; Suwannakum, T. Assessment of photovoltaic pumping systems in thailand-one decade experience. *Solar energy Materials and Solar Cells*. 2001; 67: 529-534.
- Lorenzo, E.; Poza, F.; Narvarte, L.; Fedrizzi, M. C.; Zilles, R.; Aandam, M.; Zaqui, S. Best practices in the implementation of photovoltaic pumping systems. Universidad Politécnica de Madrid, 2005; v. 1 51 p.
- Meah, K.; Fletcher, S.; Ula, S. Solar photovoltaic water pumping for remote locations. *Renewable & Sustainable Reviews*. 2008; 12: 472-487.
- Moraes, A. M. A difusão do acesso à água com sistemas fotovoltaicos de bombeamento no semiárido brasileiro. Tese de doutorado – Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2015.
- Moraes, A. M. Energia solar fotovoltaica no Piauí: barreiras e potencialidades. 1. ed. Teresina: EDUFPI, 2013. 190p.
- Narvarte L, Lorenzo E. Sustainability of PV water pumping programmes: 12-years of successful experience. *Progress in Photovoltaic: Research and Applications*. 2010; 18: 291-298.
- Narvarte, L, Lorenzo E, Aandam M. Lessom from a PV pumping programme in South Morocco. *Progress in Photovoltaic: Research and Applications*. 2005; 13: 261-270.
- Narvarte, L.; Poza, F.; Lorenzo, E. Specification and testing of PV pumps for a Moroccan project. *Prog. Photovolt.: Res. App*. 2006; 14: 733-741.
- Nieuwenhout, F. D. J.; van Dijk, A.; Lasschuit, P. E.; van Roekel G, van Dijk VAP, Hirsch D, Arriaza H, Hankins M, Sharma BD, Wade H. Experience with solar home systems in developing countries: A review. *Progress in Photovoltaic: Research and Applications*. 2001; 9: 455-474.
- Obermaier, M; Szklo A, La Rovere, E. L.; Rosa, L. P. An assessment of electricity and income distributional trends following rural electrification in poor northeast Brazil. *Energy Policy*. 2012; 49: 531-540.
- Posorski, R. Drinking water supply with photovoltaic water pumps (PVP). Report IEA-PVPS T9-07; 16 Case Studies on the Deployment of Photovoltaic Technologies in Developing Countries. 2003; 1: 18-26.
- Seifer, P. G. Gestão de projetos de microssistemas de geração e distribuição de energia elétrica: procurando seu sucesso e sustentabilidade. Dissertação de mestrado, programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do ABC, 2012.
- Shanker A. Lessons from the Regional Solar Programme (RSP) in the sahelian countries. Report IEA-PVPS T9-07; 16 Case Studies on the Deployment of Photovoltaic Technologies in Developing

- Countries. 2003; 1: 38-40.
- Short, T. D.; Designing for sustainable development – The case of the solar powered water pump. ICED'07, International Conference on Engineering Design, Paris, 2007; 1: 1-11.
- Short, T. D.; Thompson, P. Breaking the mould: solar water pumping—the challenges and the reality. *Solar Energy*. 2003; 75: 1-9.
- Tiba, C., Fraidenraich N, Grossi Gallegos H. Lyra FJM. Brazilian solar resource atlas CD-ROM. *Renewable Energy*. 2004; 29: 991-1001.
- Tiba, C., Fraidenraich N, Grossi Gallegos H. Lyra FJM. Solar energy resource assessment - Brazil. *Renewable Energy*. 2002; 27: 383-400.
- UNDP. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis. Human Development Report 2006, United Nations Development Programme (UNDP). New York, 2006.
- Valer, L. R. A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais. 170 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, 2011.
- Varella, F. K. O. M, Cavaliero, C. K. N; da Silva, E. P. A survey of the current photovoltaic equipment industry in Brazil. *Renewable Energy*. 2009; 34: 1801-1805.
- Veiga, L. B. E; Magrini, A. The Brazilian water resources management policy: fifteen years of success and challenges. *Water Resources Management*. 2013; 27: 2287-2302.
- Villa, M. A. Vida e Morte no Sertão: História das secas no Nordeste nos séculos XIX e XX. São Paulo: Editora Âtica, 1ª edição, 2001.
- World Bank. Public Expenditures for Poverty Alleviation in Northeast Brazil: Promoting growth and improving services. Document of the World Bank, Report No. 22425-BR; June 11, 2001.
- Zerriffi, H. From açai to access: distributed electrification in rural Brazil. *International Journal of Energy Sector Management*. 2008; 2: 90-117.

ABSTRACT:

This work presents results of field research in various localities of the Brazilian semiarid region, where PV pumping systems (PVPSs) are installed. Through on-site observation, questionnaires and interviews with leaders and users, we collected data related to the operation and management of these systems. Based on these data, this article aims to show the main obstacles to the success of PVPSs installed in this region. In addition, using the literature on similar projects implemented in various countries, we discuss possible ways to overcome these barriers. Therefore, it was found that the initiatives carried out in the Brazilian semiarid did not provide adequate conditions for a wide dissemination of PVPSs due to flaws in the institutional arrangements for implementation and management, especially for not considering ways to allow the autonomy of these communities after leaving of intervening agents.

KEYWORDS: PV pumping systems; Brazilian semiarid region; Maintenance and operation.