

## **DESAFIOS ACTUALES PARA LA DIFUSIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEO DE AGUA EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO: OBSERVACIONES DE CAMPO**

**L. Roberto Valer<sup>1</sup>, A. Moura de Moraes<sup>2</sup>, F. Morante<sup>2</sup>, R. Zilles<sup>1</sup>, M. Cristina Fedrizzi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo (USP)

Instituto de Energia e Ambiente (IEE) - Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSF)

Av. Professor Luciano Gualberto, 1289 - CEP 05508-010 - São Paulo - Brasil

e-mail: robvaler@usp.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do ABC (UFABC)

Programa de Pós-graduação em Energia - Universidade Federal do ABC

Av. dos Estados, 5001. Bairro Bangu. CEP 09210-580. Santo André - SP - Brasil

*Recibido 17/08/14, aceptado 29/09/14*

### **RESUMEN:**

En las últimas décadas sistemas fotovoltaicos de bombeo (SFB) están siendo utilizados en Brasil para el suministro de agua en comunidades rurales dispersas. Diversos proyectos e iniciativas realizadas con el apoyo de entidades de cooperación internacional, instituciones de investigación, gobiernos y organizaciones no gubernamentales posibilitaron la instalación de miles de esos sistemas en el país y en especial en la región semiárida. Sin embargo, la amplia difusión de estos sistemas aún no sucedió como esperado por razones de apropiación tecnológica y diversos factores. Para entender mejor este panorama investigadores de la USP y de la UFABC visitaron en los últimos 3 años 25 SFBs instalados en 5 estados del noreste brasileño. En el presente artículo se presentan los principales problemas identificados y se formulan algunas recomendaciones que pueden ser llevadas en cuenta en futuros proyectos.

**Palabras clave:** energía fotovoltaica, sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua.

### **INTRODUCCION**

A pesar de la gran disponibilidad de agua en Brasil en comparación con otros países, hay algunas regiones, como en la región semiárida de Brasil, donde hay escasez periódica de agua debido a factores como la escasez de precipitaciones (menos de 800 mm por año), alta irradiación solar diaria (entre 5,9 y 6,1 kWh/m<sup>2</sup>) y altas temperaturas promedio (alrededor de 27°C). La región semiárida de Brasil tiene una extensión de 980,000 km<sup>2</sup>, área más grande que la de muchos países sudamericanos, como Ecuador, Chile, Paraguay, Uruguay, Guyana y Surinam. A pesar de esta escasez, la región semiárida tiene buenas reservas de agua en forma de fuentes subterráneas. Además del problema de la escasez de agua, la región también tiene problemas históricos de suministro eléctrico, especialmente en las zonas rurales. También hay comunidades que, a pesar de tener electricidad en el hogar, no la pueden utilizar en las actividades productivas ya que la red eléctrica está lejos de los lugares de producción como huertas, bebederos de animales, etc. Debido a su costo cada vez más competitivo y sus características de autonomía y modularidad, la tecnología solar fotovoltaica podría suministrar electricidad para extraer agua de fuentes subterráneas.

Básicamente, los sistemas fotovoltaicos de bombeo (SFBs) están compuestos por un generador fotovoltaico, un sistema de control, la motobomba y el sistema de almacenamiento (Figura 1). El generador fotovoltaico puede ser instalado en una estructura fija o con seguimiento. Las bombas pueden operar en corriente continua (C.C.) o corriente alterna (C.A.), y puede ser de tipo centrífuga o volumétrica. El sistema de control depende de las características de la bomba, habiendo posibilidad de no utilizarlo en pequeñas aplicaciones en c.c. (acoplamiento directo). El sistema de almacenamiento es por lo general un depósito de agua. En algunos sistemas dependiendo de la corriente de arranque del motor o la necesidad de aumentar el número de horas de bombeo, también se utiliza la acumulación electroquímica. Pero esta modalidad debe ser bien analizada teniendo en cuenta la vida útil de las baterías y el impacto financiero de su reemplazo en el ciclo de vida del proyecto. Por otro lado, cuando se utiliza como sistema de control, un inversor de frecuencia, se abre la posibilidad de usar bombas centrífugas convencionales con motor de inducción trifásico (Brito et al. 2006).

Sin embargo las experiencias con sistemas fotovoltaicos de bombeo hasta el momento presentan varios problemas para su difusión a gran escala. Hasta el año 2002, ya se había instalado en Brasil cerca de 3300 SFBs, con una potencia total próxima de 1,5MWp (Fedrizzi, 2003). La mayoría de estos sistemas (2485) fue implantada por el PRODEEM (*Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios*), programa gubernamental más importante hasta entonces de suministro de electricidad con energía solar fotovoltaica. A pesar del éxito inicial del programa, estudios posteriores demostraron que muchos sistemas dejaron de funcionar debido a fallas en los equipos y problemas relacionados con la reposición y operación de las bombas y de los equipos de control (Fedrizzi, 2003; Costa, 2006 e Borges y Carvalho, 2006).

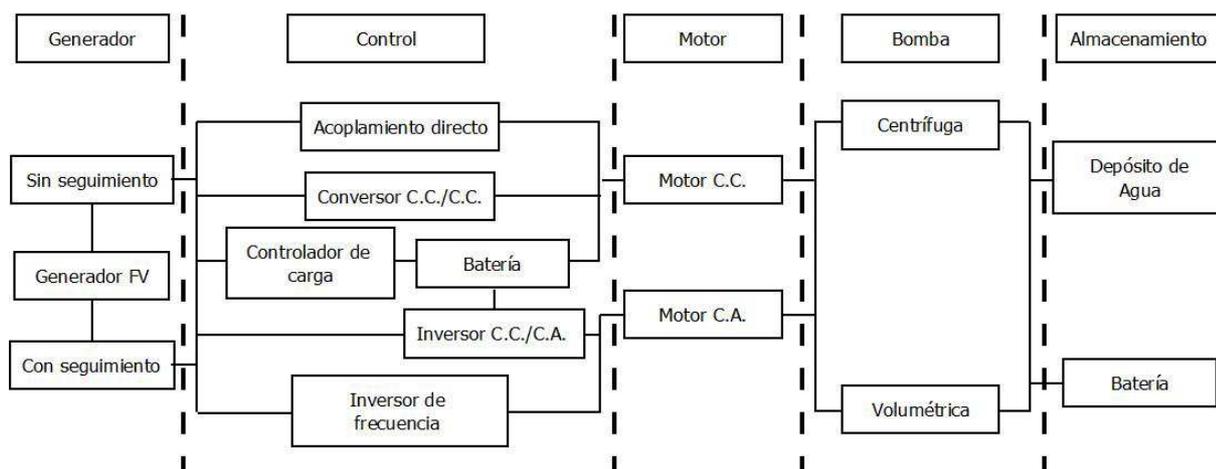


Figura 1: Posibles configuraciones para un sistema fotovoltaico de bombeo. Fuente: modificado deKoner, 1993.

Después del PRODEEM, muchos otros sistemas se han instalado sobre todo en el semiárido como proyectos piloto concebidos por ONG, autoridades locales, empresas de energía y centros de investigación. Para entender este panorama e identificar las principales barreras de la tecnología fotovoltaica de bombeo, 25 sistemas fueron visitados entre 2012 y 2014 en los estados de Piauí, Ceará, Alagoas, Sergipe y Pernambuco, como parte de la elaboración de dos trabajos académicos (USP y UFABC). Se aplicaron cuestionarios y entrevistas con agentes que participan en los proyectos. En base a esta información recopilada, este artículo describe los problemas actuales y presenta algunos de los factores importantes para el éxito de los futuros proyectos de bombeo fotovoltaico.

## EXPERIENCIAS ANALIZADAS

Para conocer mejor los proyectos de bombeo fotovoltaico fueron realizadas visitas de campo a sistemas instalados en el semiárido brasileño. Dentro de lo posible, personas involucradas en los procesos de implantación de los proyectos fueron entrevistadas además de los beneficiarios, incluso cuando los sistemas estaban desactivados o paralizados. Para esta finalidad se utilizaron cuestionarios apropiados para cada situación.

En total fueron visitados 25 sistemas fotovoltaicos de bombeo y fueron contactadas 9 entidades. La tabla 1 presenta un resumen de los sistemas visitados y de las entidades participantes en cada proyecto, y a seguir se realiza una breve descripción por Estado dos proyectos analizados.

Entidades participantes	Sistemas instalados /Sistemas visitados	Estado	Municipios (Sistemas instalados por municipio)
Diocese de Floriano	12/5	Piauí	Floriano (12)
Particular	2/2	Piauí	Oeiras (2)
Instituto Piauí Solar	1/1	Piauí	Oeiras (1)
IDER/USAID	*2/2	Ceará	Itapipoca (2)
IA/SDA	5/1	Ceará	Granja (1), Itatira (1), Lavras de Mangabeira (1), Assaré (1) e Dep. IrapuanPinheiro (1)
COELCE	1/1	Ceará	Quixeramobim (1)
Instituto Eco-engenho	2/2	Alagoas	Pão de açúcar (1) e São José de Tapera (1)
Instituto Xingô / Grupo FAE	*1/1	Sergipe	Canindé do São Francisco (1)
CELPE	7/6	Pernambuco	Serra Talhada (7)
Diaconia /ONG NAPER	*4/4	Pernambuco	Afogados da Ingazeira (2) e São José de Egito (2)

Tabla 1: Sistemas fotovoltaicos de bombeo visitados

\*No fue posible conocer el número exacto de sistemas instalados.

### Piauí

En noviembre de 2012 fueron visitados 8 SFBs en el estado de Piauí. La Diócesis de Floriano fue responsable por la instalación de 12 SFBs en el municipio del mismo nombre. La mayor parte de esos sistemas se encuentra en la zona urbana y son utilizados para disminuir los gastos en energía eléctrica para el bombeo. El Instituto Piauí Solar instaló un sistema de bombeo aplicando la configuración propuesta por Brito (2006) para atender la demanda hídrica de un pequeño huerto en la comunidad Exú, ubicada en el municipio de Oeiras (Figura 2). Además de los sistemas mencionados también fueron visitados otros dos sistemas instalados en propiedades particulares. Eso fue posible porque en la región actúa un técnico capacitado durante la implantación del PRODEEM que brinda asistencia técnica a los usuarios. Informaciones adicionales sobre estos y otros SFBs instalados en Piauí se encuentran en Moraes (2009), Moraes et al. (2011) y Moraes et al. (2014).



Figura 2: SFBs instalados en Piauí: comunidad Exú, Oeiras (izquierda) y Poço de Peixe, Floriano (derecha).

### Ceará

En el estado de Ceará en junio de 2013 fueron visitados 4 SFBs (figura 3). En todos los casos los sistemas fueron instalados para utilizarlos en actividades agrícolas. El Instituto de Desarrollo Sostenible y Energías Renovables (IDER) fue responsable por la instalación de 2 SFBs en el municipio de Itapipoca. A pesar de los buenos resultados del proyecto durante los primeros años de funcionamiento, durante la visita los sistemas estaban desactivados debido a problemas relacionados con la sustitución de las motobombas. Otros 4 sistemas fueron instalados mediante el trabajo en conjunto del Instituto Agropolos (IA), la Secretaria de Desarrollo Agrario (SDA) y la Empresa de Asistencia Técnica y Extensión Rural de Ceará (EMATERCE) en comunidades rurales de los municipios de Itaira, Assaré, Lavras de Mangabeira y Granja. Las dos primeras instituciones instalaron otro sistema en el municipio Diputado Irapuan Pinheiro. Además de estos, en 2010 la Compañía Energética de Ceará, instaló un sistema para irrigar un huerto comunitario en Poço Grande, Quixeramobim. Por causa de la altura entre los depósitos de agua y el río el sistema fue instalado mediante dos etapas de bombeo: en la primera la motobomba bombeaba agua del río hasta un depósito intermedio en el cual estaba instalada otra motobomba que subía el agua hasta el segundo depósito, a partir de este el agua era distribuida por gravedad en la zona de plantío. Más informaciones acerca de estos sistemas se pueden encontrar en Valer et al. (2013).



Figura 3: SFBs instalados en Ceará: comunidad de Iapara y Vaquejador, Granja (izquierda) y BomJesus, Itapipoca (derecha).

### Alagoas

En setiembre de 2013 fueron visitados 2 sistemas en la región denominada *sertão de Alagoas*, ambos implantados por el Instituto *Eco-engenho*. Uno fue destinado para irrigar una pequeña área en el municipio de Pão de Açúcar mientras que el otro fue usado para la producción hidropónica de pimienta en el municipio de São José da Tapera. Durante la visita los SFBs estaban desactivados, el primero debido a dificultades financieras para sustituir la motobomba y el segundo porque la comunidad fue electrificada por medio de la red eléctrica. La figura 4 presenta una visión general de los dos proyectos. En Valer et al (2014) se encuentran más detalles de esas iniciativas.



Figura 4: SFB instalado en Sitio Traíras, Pão de Açúcar cuando estaba operativo en 2006 (izquierda) y sistema fotovoltaico para la producción hidropónica de pimienta en São José da Tapera (derecha).

### Sergipe

En una de las márgenes del Río São Francisco, en la zona fronteriza de los estados de Alagoas y Sergipe, se encuentra una iniciativa familiar de turismo gastronómico. Se trata del Restaurante Angicos ubicado en el municipio de Canindé do São Francisco, local próximo del lugar donde en 1938 mataron al legendario bandolero Lampião. Ese emprendimiento consideró la instalación de un SFB flotante y un sistema fotovoltaico domiciliario (SFD), como se puede observar en la figura 5. Esos sistemas fueron visitados en setiembre de 2013 y se pudo verificar que después de varias modificaciones el SFD se encontraba conectado a la red eléctrica y el SFB que utilizaba un inversor de frecuencia importado estaba parcialmente desactivado. Para obtener más informaciones sobre esa iniciativa consultar Barbosa et al. (2007) y Valer et al. (2014).



Figura 5: SFB y Sistema fotovoltaico conectado a la red instalados en el restaurante Grota dos Angicos, Canindé do São Francisco.

### Pernambuco

En marzo de 2014 fueron visitados 10 SFBs en la región del *sertão pernambucano*, siendo que 6 fueron implantados por medio de un proyecto de I&D de la CELPE (Compañía Energética de Pernambuco) y 4 por la ONG NAPER Solar en conjunto con la ONG Diaconia. Los sistemas implantados en el proyecto de la CELPE consideraron la configuración propuesta por Brito (2006) con motobombas convencionales fabricadas en Brasil acopladas al generador fotovoltaico a través de un inversor de frecuencia. Estos sistemas fueron implantados en enero de 2014 y se encontraban en fase de monitoreo. Los otros 4 SFBs utilizan pequeñas motobombas importadas para irrigar pequeños huertos y frutales. La figura 6 ilustra dos SFBs, el primero implantado por la CELPE en el municipio de Serra Talhada utilizado para criar rebaños de bovinos y caprinos, y el segundo en el municipio de Afogados da Ingazeira utilizado para irrigar un pequeño huerto.



Figura 6: SFBs instalados en Pernambuco: Fazenda Papagaio, Serra Talhada (izquierda) y Brejo da Carapuça, Afogados de Ingazeira (derecha).

## PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA TECNOLOGÍA

En esta sección se discuten los principales problemas identificados en los proyectos estudiados relacionados a la tecnología fotovoltaica de bombeo:

### *Alto costo de bombas dedicadas para aplicaciones fotovoltaicas*

Aunque el precio de los módulos fotovoltaicos se ha reducido considerablemente en los últimos años, el precio de las bombas dedicadas a aplicaciones fotovoltaicas es todavía alto, especialmente si se considera el poder adquisitivo de los agricultores familiares. Por otra parte, faltan líneas de crédito específicas para que los pequeños agricultores tengan acceso a equipos más sofisticados, como la tecnología fotovoltaica.

### *Dificultades para la compra y sustitución de componentes: bombas y sistemas de control*

El mercado de bombeo fotovoltaico no está desarrollado en el noreste de Brasil. Bombas dedicadas a sistemas fotovoltaicos y sus respectivos sistemas de control prácticamente no se producen en el país, y son difíciles de adquirir fuera de los grandes centros urbanos del noreste, por lo que muchas veces es necesario importar el producto directamente o a través de alguna empresa intermediaria situada en la región Sudeste Brasileña.

### *Falta de personal calificado para diagnosticar problemas y reparar sistemas*

Brasil, en general, carece de mano de obra calificada para trabajar en la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, sean aislados o conectados a la red eléctrica. Este problema se agrava en la región semiárida brasileña debido a la dispersión de las comunidades rurales que cuentan con SFB. La mayoría de los sistemas visitados no contaban con algún técnico capaz de resolver cualquier problema, dependiendo de técnicos de otras regiones. Este hecho dificulta el uso de la tecnología fotovoltaica. Se comprobó que en los municipios que contaban con técnicos capacitados para reparar cualquier problema técnico, la vida útil del sistema aumentó así como también la confianza de los usuarios en relación a la tecnología.

## PROBLEMAS RELACIONADOS CON LOS PROYECTOS

En esta sección se discuten algunas cuestiones relacionadas con el diseño y la ejecución de proyectos.

### *Problemas con el dimensionamiento*

Algunos sistemas estudiados fueron aparentemente dimensionados en forma inadecuada por falta de información acerca de las características locales, tales como la hidrogeología de los pozos, las necesidades de los usuarios y el rendimiento real en campo de las bombas.

### *Falta de información sobre el desempeño de los proyectos en campo*

Hay poca información sobre el número de proyectos con SFBs y el estado actual de ellos en artículos científicos y otras publicaciones. La escasa información suele limitarse a la aplicación y los primeros años de marcha del proyecto, faltando información acerca de las razones por las cuales los proyectos fracasaron o no tuvieron el impacto deseado. Se comprobó también que hay poco intercambio de información entre las agencias ejecutoras de los proyectos en la región y, por esta razón, muchas iniciativas cometen los mismos errores, sin beneficiarse de las experiencias previas.

### *Falta de planes o fondos para la sustitución de componentes y el reemplazo de las bombas*

La mayoría de los proyectos analizados, son de uso comunitario y financiados a fondo perdido, en donde los sistemas son donados o cedidos temporalmente a los beneficiarios. Fue observado que en casi todos los casos no existía un plan de

contingencia para la sustitución de componentes averiadas. Y así cuando los recursos de los proyectos acaban, los usuarios finales no pueden reparar o sustituir esos componentes del sistema.

#### *Instituciones distantes de los lugares de implantación de los proyectos*

La mayor parte de las entidades ejecutoras de los proyectos con SFB están ubicadas en centros urbanos distantes del local de instalación de los sistemas. Esto crea dificultades logísticas para la reparación de averías y de monitoreo de los sistemas en campo.

#### *Obra civil e infraestructura hidráulica*

Locales lejanos y de difícil acceso tienen más dificultades para la ejecución de proyectos, principalmente de obras civiles como perforación de pozos, construcción de embalses y de la red de agua, siendo muchas veces necesario el desplazamiento, y, en algunos casos, alojamiento, de personal capacitado y maquinaria al lugar de instalación, lo que aumenta los costos del proyecto. Además de este problema, muchos problemas encontrados en los proyectos no están directamente relacionados con la energía fotovoltaica sino a la calidad de la ejecución de las obras civiles y de los materiales usados en la red hidráulica, tales como grifos y conexiones. Fue observado que, especialmente en los sistemas de uso colectivo, el grifo es el primer componente a fallar, por lo que debe ser de un material de buena calidad y robusto.

### **PROBLEMAS RELACIONADOS AL USO PRODUCTIVO**

Esta sección presenta los problemas identificados relacionados con el uso de bombeo fotovoltaico para la producción agrícola.

#### *Incompatibilidad con la demanda hídrica*

Debido a las limitaciones presupuestarias de los proyectos y las limitaciones técnicas de las bombas dedicadas a los sistemas fotovoltaicos disponibles en el mercado, muchos sistemas no pueden satisfacer plenamente la demanda hídrica requerida por ciertos cultivos o tipos de producción. Alternativamente, en muchos casos, es necesario utilizar otras tecnologías para suministrar los requisitos adicionales, por ejemplo, los generadores operados utilizando combustibles fósiles.

#### *Problemas inherentes a la agricultura en pequeña escala*

A pesar de la larga experiencia de los pequeños agricultores del *sertão*, hay muchos problemas que determinan la baja productividad y pequeñas ganancias para los pequeños agricultores. Autores como Lacki (2014) señalan estos problemas: bajo rendimiento por hectárea debido a la utilización de técnicas agrícolas inadecuadas; inadecuada diversificación de la producción aumentando la vulnerabilidad de la producción a factores climáticos, plagas y variaciones del mercado; inadecuado manejo de los factores de producción que aumentan los costos de producción debido a la sub/superdimensionamiento y la inactividad de terrenos, maquinaria, etc.; dependencia de intermediarios para adquirir materias primas y la comercialización de los excedentes; y producción de especies de poco valor económico, y comercialización de productos sin incorporación de valor.

#### *Trabajo en equipo*

Muchos proyectos fueron diseñados como sistemas de uso comunitario para aumentar el número de beneficiarios. Pero a pesar de la existencia de asociaciones de productores, no todos pueden trabajar juntos, distribuyendo tareas y beneficios, siendo común la existencia de conflictos internos y el abandono de muchos productores del proyecto.

#### *Calidad del agua*

Muchos de los pozos perforados en el semiárido brasileño tienen agua con altas concentraciones de sales que los hacen no aptos para el consumo humano, animal y riego. Sin embargo, aun así, este tipo de agua se sigue utilizando en muchos lugares debido a la falta de una de mejor calidad.

### **RECOMENDACIONES**

Como se mencionó en la sección anterior, la sustitución de la bomba es el "talón de Aquiles" de la mayoría de los proyectos. No porque la tecnología es mala, sino porque hay problemas para reemplazarla o repararla, así que es necesario capacitar a los usuarios para utilizarlas de manera adecuada, capacitar técnicos en la región para repararlas o utilizar la configuración alternativa con inversor de frecuencia y motobombas centrifugas trifásicas no dedicadas a aplicaciones fotovoltaicas propuesta por Brito (2006). Esta configuración, que está siendo probada en campo en varios proyectos actualmente, tiene un precio inicial menor que el de los sistemas con bombas fotovoltaicas y que la extensión de la red eléctrica para casos específicos (Fedrizzi et al., 2009). También proporcionaría un mantenimiento y reemplazo más fácil ya que hay puntos de venta y servicio técnico en la región para ellas.

Ya la capacitación de técnicos debe ser parte de una política de formación técnica de los profesionales para trabajar en la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos en los municipios del semiárido. En este contexto, el papel de los Institutos Federales de Educación, Ciencia y Tecnología es prometedor, pues estas instituciones tienen unidades en todos los

estados del noreste y muchos campus están ubicados en los municipios del semiárido. Un ejemplo es el IF Serrato Pernambucano en la ciudad de Petrolina (PE) que posee un curso técnico en Energías Renovables. Otra posibilidad es utilizar el Programa Nacional de Acceso a la Enseñanza Técnica y Empleo (PRONATEC) del Gobierno Federal para crear, con el apoyo de universidades y centros de investigación, un curso de formación profesional en la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos de bombeo.

Muchos proyectos acabaron sólo por la imposibilidad de reemplazar la bomba u otros componentes del sistema. Por lo tanto, se recomienda crear un fondo comunitario para permitir la sustitución de piezas y el mantenimiento del sistema. Este fondo puede ser financiado en parte por los usuarios con los ahorros de combustible o electricidad o con las ganancias de la actividad productiva. La otra parte podría ser financiada mediante la negociación de una línea de crédito.

Si es posible, la gestión de los sistemas debe estar a cargo de las asociaciones de usuarios de SFB. Aunque en la mayoría de las comunidades ya hay asociaciones de productores, estas muchas veces sólo desempeñan una función burocrática, con poca representación. La creación de una asociación de usuarios del sistema fotovoltaico ya ha tenido buenos resultados en otros proyectos (Narvarte y Lorenzo, 2010).

Acuerdos con instituciones cercanas a los locales de instalación es otro punto que puede maximizar el éxito de los proyectos con SFB. La red de instituciones gubernamentales y no gubernamentales que trabajan en la región semiárida es enorme y puede ser ampliamente aprovechado para facilitar la asistencia técnica a los beneficiarios con los proyectos de bombeo fotovoltaico.

Proyectos de uso productivo necesitan de una planificación diferente a los de uso doméstico. En este sentido, la planificación de estos proyectos debe ser realizado por equipos interdisciplinarios para resolver los diversos problemas que se producen en la cadena de producción. En este contexto, es importante llevar a cabo cursos de capacitación para fortalecer a las asociaciones de productores. Asociaciones fortalecidas pueden negociar mejor el valor de los productos e insumos, así como producir en volumen suficiente para acceder a nuevos mercados que los productores de forma individual no podrían. Estos entrenamientos pueden ser específicos a la tecnología fotovoltaica, de manera que permita la ejecución de mantenimiento correctivo y preventivo, así como capacitación en la producción (agricultura, pesca, etc.) y la gestión de la asociación. Además, hay una gran cantidad de tecnologías ya testadas en el semiárido que se puede incorporar en los proyectos de bombeo como la producción local de los fertilizantes, el uso de invernaderos, biodigestores, secadores solares, etc.

La elección de los productos de alto valor añadido es un punto importante en los proyectos estudiados que puedan reproducirse en otras regiones, pero para eso es esencial el apoyo de las instituciones locales. Se sabe que la gran mayoría de los residentes de estas áreas tienen poca educación y poca formación en técnicas de producción diferentes de las tradicionales. Este hecho muestra aún más la importancia del papel de las instituciones locales y de las redes de escuelas agrícolas en los y los cambios de paradigma en la formación de estas comunidades rurales del semiárido brasileño.

## CONCLUSIONES

A través del presente estudio, fue observado el gran potencial de la tecnología fotovoltaica para garantizar el acceso al agua en las comunidades rurales dispersas del semiárido brasileño. En general, todos los proyectos estudiados han tenido impactos positivos significativos durante el tiempo que permanecieron en funcionamiento. El aprendizaje de nuevas técnicas agrícolas (consorcio y la rotación de cultivos, riego por goteo, etc.) y la capacidad de diversificar su producción dio un impulso inicial a muchos pequeños agricultores para seguir produciendo, incluso después del fin de los proyectos. En este escenario, reflexiones sobre los proyectos permitieron identificar los principales desafíos para la difusión de la tecnología fotovoltaica para el bombeo en la región. Entre los puntos observados destacan la ausencia de una política para la gestión y mantenimiento de los sistemas, la escasez de mano de obra calificada, la dificultad en la obtención de piezas de repuesto, la falta de asistencia técnica en los proyectos de uso productivo, la dificultad y ausencia de líneas específicas de crédito para las nuevas tecnologías, entre otros. Los problemas técnicos que se presentan aquí no difieren mucho de otros proyectos instalados en otros países en desarrollo (Espericueta et al, 2004 Kaunmuang et al., 2001).

La observación de las particularidades locales, el uso de componentes de calidad, la realización de un amplio proceso de transferencia de tecnología mediante equipos interdisciplinarios son identificados como etapas importantes a tener en cuenta en este proceso (Lorenzo et al, 2005.) Sin embargo, se encontró en el análisis de los proyectos estudiados en el semiáridos del Brasil de que, incluso siguiendo las indicaciones de estas buenas prácticas, muchas iniciativas no han logrado el éxito esperado. Esto ocurre justo después de la salida de las instituciones creadoras de los proyectos. En general, las comunidades rurales de la región semiárida de Brasil muestran una fuerte dependencia del gobierno y / de las instituciones que los atienden. Por lo tanto, se recomiendan cambios significativos en el diseño y la ejecución de futuros proyectos que consideren aspectos tales como la formación de mano de obra local especializada (en sus diferentes niveles), el uso de la tecnología nacional siempre que sea posible, alianzas con instituciones locales consolidadas, disponibilidad de líneas crédito a los pequeños agricultores, fortalecimiento de las asociaciones de productores, asistencia técnica agrícola, producción de cultivos de alto valor añadido y apropiadas al clima local, entre otros.

Es de destacar, que en el año internacional de la agricultura familiar, el gran potencial que tienen las energías renovables para el suministro de agua para el riego y la pequeña ganadería, especialmente para satisfacer la demanda hídrica de las comunidades rurales dispersas en semiárido. Un grande obra está en curso en la región, la transposición del río São Francisco, pero esta obra no permitirá a atenderá un gran número de propiedades rurales lejanas al trazado del proyecto. Las

tecnologías sociales tales como la captura de agua de lluvia a través de cisternas (en los techos, en paseos marítimos y la escorrentía), represas de agua subterránea, tanques de piedra, entre otras, son acciones que se han generalizado en la región que permiten mejores resultados en lugares dispersos que las grandes obras de aguas distantes. Estas tecnologías, combinadas con otras, como la solar fotovoltaica, pueden proporcionar acceso a la seguridad del agua tan anhelada por las poblaciones del semiárido. Además, presenta condiciones para el fortalecimiento de la agricultura familiar y la mejora de las condiciones de vida en semiárido y puede permitir la reducción de la dependencia de las condiciones climáticas y del gobierno.

## AGRADECIMIENTOS

A la *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES) y a los representantes de las instituciones mencionadas en el artículo por el apoyo en los viajes de campo.

## REFERENCIAS

- Barbosa E.M., Prata AR, Silva ES, Tiba C. (2007). Avaliação dos benefícios socioeconômicos em aplicações fotovoltaicas com finalidades produtivas – caso restaurante Grota de Angicos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 11, p. 12.17-12.24.
- Brito AU. (2006). Otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de conversores de frequência comerciais para acionar bombas centrífugas. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, Brasil.
- Borges MR e Carvalho PC. (2006). Energia solar fotovoltaica no semi-árido: estudo de caso sobre a atuação do PRODEEM em Petrolina-PE. Encontro de Energia no Meio Rural AGRENER 2006, Campinas, Brasil.
- Costa H. (2006). Diagnóstico do estado de funcionamento de sistemas de bombeamento de água fotovoltaico (SBFV) instalados em Pernambuco. Encontro de Energia no Meio Rural AGRENER 2006, Campinas, Brasil.
- Espericueta, ADC. et al. (2004). Ten-year reliability assessment of photovoltaic water pumping systems in Mexico. *Solar 2004*, American Solar Energy Society Portland, Oregon, July 9-14
- Fedrizzi MC. (2003). Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições aprendidas e procedimentos para potencializar sua difusão. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.
- Fedrizzi MC. (2009). Bombeamento de água no meio rural, análise econômica de duas configurações fotovoltaicas e uma elétrica convencional. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 13, p. 04.117-04.123.
- Kaunmuang P., et al. (2001). Assessment of photovoltaic pumping systems in Thailand-one decade experience. *Solar energy materials and solar cells* v.67 (1-4) p.529-534.
- Koner PK. (1993). A review on the diversity of photovoltaic water pumping systems. *RERIC International Energy Journal* 1993;15;89–110.
- Lacki P. (2014). Livro dos pobres rurais. Disponível em: <<http://www.polanlacki.com.br>>. Acesso: junho de 2014.
- Lorenzo E et al. (2005). Boas práticas na implantação de sistemas de bombeamento fotovoltaico. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. v. 1. 56 p.
- Moraes AM. (2009). Aplicações da tecnologia solar fotovoltaica no Estado do Piauí: barreiras e potencialidades. Dissertação de Mestrado. Universidade federal do ABC. São Paulo, Brasil.
- Moraes AM; Morante, F y Fedrizzi MC. (2011). La problemática de obtención de agua potable en la región semiárida brasileña utilizando sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 15, p. 04.97-04.104, 2011.
- Moraes AM; Valer LR; Morante F. y Fedrizzi MC. (2014). Sistemas fotovoltaicos de bombeamento implantados no semiárido piauiense. In: V Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2014, Recife. V Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2014.
- Narvarte Ly Lorenzo E. (2010). Sustainability of PV water pumping programmes: 12-years of successful experience, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 2010;18:291-298.
- Valer LR; Moraes AM; Morante F.; Zilles R y Fedrizzi MC. (2013). Experiências no semiárido cearense na implantação de sistemas fotovoltaicos para irrigação: lições aprendidas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 17, p. 04.01-04.10.
- Valer, LR; Moraes AM; Fedrizzi MC; Morante F y Zilles R. (2014). Experiências na implantação de sistemas fotovoltaicos para usos produtivos: observações de campo no semiárido alagoano e sergipano. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético.

## ABSTRACT

In recent decades, photovoltaic pumping systems (PPS) has been used in Brazil for water attendance in scattered rural communities. Several projects and initiatives with the support of international cooperation agencies, research institutions, governments and non-governmental organizations made possible the installation of thousands of these systems in the country and especially in the semiarid region. However, its widespread dissemination has not occurred as expected for reasons of technological appropriation and various factors. To better understand this situation USP and UFABC researchers visited in the past 3 years 25 SFBs installed in 5 states in northeastern Brazil. This paper presents the main problems identified and indicates recommendations for future projects.

**Keywords:** photovoltaic energy, photovoltaic pumping systems.