



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

BIANCA MARIA CRUZ CARTAXO



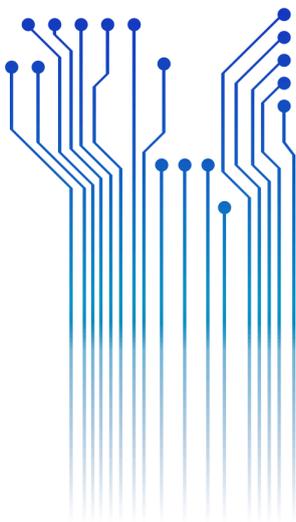
Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO PARA IRRIGAÇÃO NA
ZONA RURAL



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
Junho de 2016

BIANCA MARIA CRUZ CARTAXO

USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO PARA IRRIGAÇÃO NA ZONA
RURAL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, D. Sc.

Campina Grande
Junho de 2016

BIANCA MARIA CRUZ CARTAXO

USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO PARA IRRIGAÇÃO NA ZONA
RURAL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família, pais e irmãos, por todo o apoio que me deram nesta nova etapa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e pelo dom da perseverança, que me permitiu concluir este trabalho.

Agradeço também aos meus pais, Cartaxo e Maria Agnes, por todo o esforço tanto para me proporcionar uma boa educação, por terem me alimentado com saúde, força e coragem, as quais que foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço também a toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Agradeço aos meus amigos irmãos, Ezequiel, Elton, Ewerton, Mariana, Mikail e Snadgyell, que não me deixaram fraquejar, e se mantiveram firmes comigo até o fim.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

“Não se mede o valor de um homem por suas roupas ou pelos bens que possui, o verdadeiro valor do homem é o seu caráter, suas ideias e a nobreza dos seus ideais.”

Charles Chaplin

RESUMO

Entre as maiores preocupações do mundo atual está a necessidade de se obter energia por meio de fontes renováveis. Os sistemas fotovoltaicos surgem como uma alternativa para esse problema. O presente trabalho de conclusão de curso aborda a utilização da energia solar fotovoltaica aplicada ao bombeamento de água. A partir dos casos apresentados se fez possível avaliar a viabilidade e confiabilidade desse sistema, com atenção a informações sobre projetos com sistemas fotovoltaicos de bombeamento para uso na irrigação de pequenas unidades agrícolas, em particular àquelas instaladas em regiões secas e carentes de água, que são comumente as mais adequadas em termos de insolação, como é o caso da área rural do Nordeste do Brasil. A partir dessa análise foi realizada uma síntese de experiências com identificação das principais barreiras e potencialidades de seu uso. O potencial de emprego desta tecnologia mostrou-se relevante na irrigação destas comunidades rurais, tanto devido ao potencial energético na localidade onde o experimento foi instalado, como devido à capacidade de volume de água bombeado à produção agrícola.

Palavras-chave: Energia solar, Sistemas de bombeamento fotovoltaico, Uso produtivos de energia, Irrigação.

ABSTRACT

Among the major concerns of the world today is the need to obtain energy through renewable sources. Photovoltaic systems are an alternative to this problem. This course conclusion work deals with the use of photovoltaic solar energy applied to pumping water. From the presented cases it made it possible to assess the feasibility and reliability of this system, with attention to information about projects with photovoltaic pumping systems for use in irrigation of small farms, particularly those installed in dry and poor areas of water, which are commonly the most adept in terms of heat stroke, such as the rural area of Northeast Brazil. From this analysis was a synthesis of experiences with identifying the key barriers and potential of its use. The employment potential of this technology proved to be relevant in the irrigation of these rural communities, both because of the energy potential in the location where the experiment was conducted, as due to the volume of water pumped capacity for agricultural production.

Keywords: Solar energy, photovoltaic pumping systems, energy production use, irrigation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico isolado	20
Figura 2 – Sistema Fotovoltaico híbrido com turbina eólica e módulos fotovoltaicos.....	21
Figura 3 – Sistema Fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	22
Figura 4 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico de bombeamento	3
Figura 5 – Conjunto Motobomba	25
Figura 6 – Exemplos de Configuração de Sistemas de Bombeamento	6
Figura 7 – Curva relacionando a vazão d'água (m ³ /h), altura manométrica (m) e potência elétrica (W) de uma motobomba.....	32
Figura 8 – Sistema de irrigação por micro aspersão para hortaliças	34
Figura 9 – Módulo Solar	35
Figura 10 – Conjunto Motobomba	36
Figura 11 – Reservatório.....	37
Figura 12 – Sistema de irrigação por gotejamento para hortaliças.....	39
Figura 13 – Plantio afetado pela salinidade no sistema de irrigação por micro aspersão para hortaliças	39
Figura 14 – Módulo Solar	40
Figura 15 – Conjunto Motobomba	41
Figura 16 – Reservatório com elevação.....	42
Figura 17 – Sistema de irrigação por gotejamento para feijão	44
Figura 18 – Módulo Solar	45
Figura 19 – Conjunto Motobomba	46
Figura 20 – Reservatório elevado.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações elétricas do módulo	36
Tabela 2– Desempenho típico SHURFLO 2088-443-144.....	37
Tabela 3 – Especificações elétricas do módulo	41
Tabela 4– Desempenho típico SHURFLO 2088-443-144.....	42
Tabela 5 – Especificações elétricas do módulo	45
Tabela 6– Desempenho típico SHURFLO 2088-443-144.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
SFVI	Sistema Fotovoltaico de Irrigação
ONG	Organização Não Governamental
EMEPA	Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
kWp	Quilowatt-hora-pico
PVC	Policloreto de vinila
UDES	Unidade Demonstrativa com Uso da Energia Solar na Fruticultura Familiar Irrigada
PROCASE	Projeto de Desenvolvimento Sustentável do Cariri, Seridó e Curimataú
FIDA	Fundo Internacional para o Desenvolvimento Agrícola
ONU	Organização das Nações Unidas
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
IEA	Instituto de Economia Agrícola

LISTA DE SÍMBOLOS

kWp	Quilowatt-hora-pico
Wp	Watt-pico
m ³ /h	Metro cúbico por hora
m	Metro
W	Watt
Mm	Milímetro
Kg	Quilo
W/m ²	Watt por metro quadrado
°C	Graus Celsius
V	Volt
A	Ampere
Vcc	Tensão em corrente contínua
L/min	Litro por minuto

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
Lista de Abreviaturas e Siglas	xi
Lista de Símbolos	xii
.....	xii
Sumário	xiii
1 Introdução.....	15
1.1 Objetivos.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 Estrutura do Trabalho	16
2 Tecnologia Fotovoltaica na Irrigação.....	18
2.1 Irrigação.....	18
2.1.1 Sistemas de Irrigação.....	18
2.2 Histórico de Projetos com Sistemas Fotovoltaicos de Irrigação (SFVI) no Brasil.....	19
2.3 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.....	20
2.3.1 Sistemas Isolados.....	20
.....	21
2.3.2 Sistemas Híbridos.....	21
2.3.3 Sistemas Conectados à Rede	22
.....	23
2.3.4 Sistemas de Bombeamento de Água.....	23
• Gerador Fotovoltaico	24
• Conjunto Motobomba	25
2.4 Tipos de Acoplamento entre o Gerador Fotovoltaico e o Conjunto Motobomba	27
2.4.1 Acoplamento Direto	28
2.4.2 Acoplamento com Baterias.....	28
2.4.3 Acoplamento com Condicionamento de Potência	28
2.5 Sistemas de Armazenamento	30
2.5.1 Sistema de Armazenamento com Baterias.....	30
2.5.2 Sistema de Armazenamento com Reservatório	30
2.6 Dimensionamento de Sistemas de Bombeamento	31
2.6.1 Necessidades de Água	32
2.6.2 Particularidades do Poço e Alturas Manométricas	32
2.6.3 Seleção do Sistema de Bombeamento e da Potência do Gerador Fotovoltaico	32
3 Apresentação dos Projetos Estudados	33

3.1	Implantação da UDES – Unidade Demonstrativa com Uso da Energia Solar na Fruticultura Familiar Irrigada - Galante	34
3.1.1	Área de Cultivo e Sistema de Irrigação	34
3.1.2	Sistema de Bombeamento Fotovoltaico	35
3.2	Implantação da UDES – Unidade Demonstrativa com Uso da Energia Solar na Fruticultura Familiar Irrigada – CATOLÉ DE BOA VISTA	38
3.2.1	Área de Cultivo e Sistema de Irrigação	39
3.2.2	Sistema de Bombeamento Fotovoltaico	40
3.3	PROCASE	43
3.3.1	Área de Cultivo e Sistema de Irrigação	44
3.3.2	Sistema de Bombeamento Fotovoltaico	44
4	Benefícios, Dificuldades e Potencialidades Encontrados Durante a Implementação dos Sistemas ...	48
4.1	Benefícios	48
4.2	Dificuldades Encontradas	49
4.3	Potencialidades para Implementação de Sistemas Fotovoltaicos de Irrigação no Brasil.....	49
4.3.1	Recurso Solar.....	49
4.3.2	Existência de Lugares sem Acesso à Rede Elétrica	50
4.3.3	Variedade da Oferta Local de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento e Redução dos Preços dos sistemas no mercado local	50
4.3.4	Desenvolvimento da Produção Agrícola Familiar no Nordeste.....	51
5	Indicações para Implementação DO SFVI	52
5.1	Indicações Gerais para concepção do Projeto	52
5.2	Recomendações para Instalação do Sistema	54
5.2.1	Instalação dos Módulos	54
5.2.2	Instalação da Motobomba.....	54
5.2.3	Instalação do Reservatório de Água	55
6	Conclusão	55
	Referências	57
	ANEXO A – Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos de Irrigação	58

1 INTRODUÇÃO

Áreas rurais, em especial, no Nordeste brasileiro são diretamente atingidas pela insuficiência ou ausência de serviços básicos como acesso a água e à energia elétrica.

Afim de se obter uma melhor utilização da água, devido aos baixos índices pluviométricos, faz-se necessário o uso de um bom gerenciamento de água na irrigação, essencial para economia rural nordestina, visto que 82,9% da mão de obra do campo, nessa região, equivalem a agricultura familiar. Sendo esta responsável por 75% dos alimentos que vai para mesa do brasileiro (EMBRAPA, 2014).

A matriz energética brasileira atual, depende diretamente das hidroelétricas, e em alguns casos, das termoelétricas, entretanto a eficiência de um planejamento energético dar-se com a diversificação, sendo um sistema mais seguro se houver várias formas de energia (GOMES, 2014). Segundo esse mesmo autor, o Brasil precisa trabalhar com regionalidades no setor energético, explorando recursos energéticos típicos de cada região, como o recurso solar na região Nordeste.

Segundo estudo do Plano Nacional de Energia 2030, o Nordeste apresenta irradiação solar comparável as melhores regiões do mundo. Tornando assim a tecnologia fotovoltaica promissora, devido a abundancia e autonomia deste recurso na região.

A tecnologia fotovoltaica se encontra tecnicamente consolidada e vem sendo adotada para eletrificação rural, tendo como uma das principais aplicações o bombeamento de água (FEDRIZZI, 2003).

Sistemas fotovoltaicos de bombeamento são independentes de fontes combustíveis, além de apresentar facilidade na instalação, baixa necessidade de manutenção de equipamentos e reduzido impacto ambiental. Entretanto, este sistema apresenta um custo inicial relativamente alto se comparado a outros sistemas. Além da dificuldade de obtenção de material de reposição e de mão de obra qualificada para reparo de equipamentos.

Atualmente a tecnologia de sistema fotovoltaico, apresenta um alto grau de confiabilidade e eficiência no funcionamento dos sistemas. Concretamente, a geração fotovoltaica tem um excepcional êxito em aplicações onde 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.

Afim de se conhecer as limitações e potencialidade da aplicação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento, faz-se necessário estudar as experiências existentes.

1.1 OBJETIVOS

Com base na análise e revisão de experiências realizadas no Brasil, identificar e caracterizar as principais barreiras e potencialidade para uso de sistemas fotovoltaicos de irrigação e propor orientações para futuros projetos com essa tecnologia.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar um estudo sobre o uso da geração fotovoltaica para acionamento de sistemas de bombeamento com ênfase na zona rural;
- b) Realizar visitas em locais com uso do sistema de bombeamento fotovoltaico;
- c) Analisar os resultados obtidos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia é composta por seis capítulos. O Capítulo 1 é introdutório, apresenta-se motivação, objetivos e estrutura.

No Capítulo 2 é discutido a tecnologia fotovoltaica na irrigação, apresenta-se informações relacionadas aos sistemas de bombeamento fotovoltaico, além dos aspectos importantes da energia fotovoltaica. Em seguida é feito um histórico da aplicação desse tipo de sistema na irrigação, bem como uma revisão bibliográfica de alguns trabalhos, sobre o tema.

No Capítulo 3 é descrito a apresentação dos projetos estudados, e é feita uma análise dos dados obtidos a fim de mensurar a composição do projeto.

No Capítulo 4 mostram-se os benefícios, dificuldades e potencialidades encontrados durante a implementação dos sistemas de bombeamento fotovoltaico.

No Capítulo 5 são feitas indicações gerais para implementação do sistema.

Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas considerações finais obtidas através da realização do presente trabalho.

2 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA NA IRRIGAÇÃO

Apesar de o efeito fotovoltaico ter sido observado pela primeira vez pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839, e de as primeiras aplicações datarem da década de 1950, o bombeamento fotovoltaico, por outro lado, somente se deu de forma comercial no final da década de 1970 (LORENZO et al., 1999).

Desde 1990 o número de sistemas de bombeamento de água instalados em todo o mundo era inferior a 10.000. Entretanto, seu número aumentou sensivelmente e, ainda que não tenha contabilizado com precisão, o último estudo da previsão da expansão realizado pela União Europeia, mostra cifras da ordem de 150.000 sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados até 2010 (EPIA, 2006). Esse crescimento comprova a viabilidade dos sistemas de bombeamento através da energia solar fotovoltaica, enfatizando a necessidade cada vez maior pela busca de novas fontes alternativas de energia.

2.1 IRRIGAÇÃO

Na agricultura, as perdas de água ocorrem devido ao baixo rendimento de sistemas de irrigação e falta de um monitoramento da quantidade de água necessária e aplicada. Todavia, estas causas não justificam as perdas, visto que estas podem ser minimizadas pelo uso de um sistema de irrigação mais eficiente e de técnicas de manejo adequadas (COELHO; OLIVEIRA, 2005).

A irrigação utilizada de forma racional pode promover uma economia de aproximadamente 20% da água e 30% da energia consumida; sendo 20% da energia economizada devido à não aplicação excessiva da água e 10% devido ao redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999).

2.1.1 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Segundo MELLO & SILVA (2007) os sistemas de irrigação são classificados em:

- a) Irrigação localizada: a aplicação da água é feita por emissores que operam sob pressão e localizam o volume de água necessário nas áreas de interesse;
- b) Irrigação por superfície: utilizam a superfície do solo para conduzir a água que deve ser aplicada à área a ser irrigada;
- c) Irrigação por aspersão: a aplicação da água ao solo resulta da subdivisão de um jato d'água lançado sob pressão no ar atmosférico, através de simples orifícios ou de bocais de aspersores;
- d) Irrigação subterrânea: consiste na aplicação de água ao subsolo pela formação de um lençol freático de água artificial ou pelo controle de um natural, mantendo-o a uma profundidade conveniente, capaz de proporcionar um fluxo satisfatório de água à zona radicular da cultura, satisfazendo as suas necessidades no processo de evapotranspiração. Como se observa, a irrigação por aspersão e a micro irrigação são métodos pressurizados e a irrigação por superfície e a subterrânea são métodos não pressurizados.
- e) Irrigação por gotejamento: a água é aplicada de forma pontual na superfície do solo. Os gotejadores podem ser instalados sobre a linha, na linha, numa extensão da linha, ou ser manufaturados junto com o tubo da linha lateral, formando o que popularmente denomina-se "tripa". A vazão dos gotejadores é inferior a 12 l/h. A grande vantagem do sistema de gotejamento, quando comparado com o de aspersão, é que a água, aplicada na superfície do solo, não molha a folhagem ou o colmo das plantas. Comparado com o sistema subsuperficial, as vantagens são a facilidade de instalação, inspeção, limpeza e reposição, além da possibilidade de medição da vazão de emissores e avaliação da área molhada. As maiores desvantagens são os entupimentos, que requerem excelente filtragem da água e a interferência nas práticas culturais quando as laterais não são enterradas.

2.2 HISTÓRICO DE PROJETOS COM SISTEMAS

FOTOVOLTAICOS DE IRRIGAÇÃO (SFVI) NO

BRASIL

Atualmente, existem milhares de sistemas de bombeamento fotovoltaico em funcionamento nas mais remotas regiões do mundo. No Brasil o bombeamento de água utilizando painel fotovoltaico pode representar uma solução às famílias em pequenas propriedades rurais, principalmente em regiões áridas e semiáridas, porém para essa aplicação é importante conhecer a tensão, corrente e a potência gerada pelo painel, assim como as características do conjunto moto-bomba e a irradiação média da região em todas as estações do ano (MICHELS et. al., 2009).

Embora o Brasil apresente pouco desenvolvimento em relação a tecnologia fotovoltaica, já existem centenas de sistemas, com possibilidades de aumento significativo nos próximos anos. Alguns “projetos piloto” implementados na região Nordeste do país, viabilizados por meio de parcerias entre ONG’s e institutos de pesquisa, são apresentados nesta seção.

Na Paraíba, a EMEPA (Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba) instalou SFVI’s nos municípios de Condado, Patos e Itaporanga e Campina Grande.

2.3 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

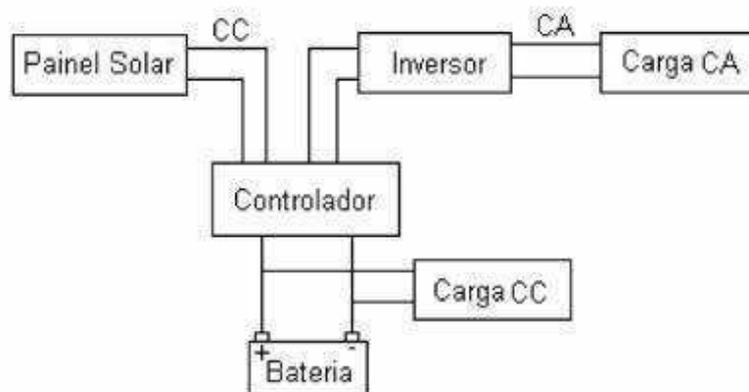
Os sistemas fotovoltaicos podem ser qualificados em quatro grupos distintos: isolados, híbridos, conectados à rede e de bombeamento de água. O emprego de cada um dos sistemas depende inteiramente da finalidade do uso final, da avaliação econômica, do nível de confiabilidade e de propriedades específicas do projeto.

2.3.1 SISTEMAS ISOLADOS

Também conhecidos como independentes, isto é, autônomos da rede elétrica convencional, estes sistemas empregam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento é adquirido pelo meio de baterias, as quais são adjuntas a um dispositivo de controle de carga e de descarga.

A Figura 1 representa a configuração básica de um sistema fotovoltaico isolado.

Figura 1 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico isolado.



Fonte: (FILHO, 2003)

O painel solar, através dos módulos fotovoltaicos, carrega as baterias durante os períodos de insolação. Estas baterias fornecem energia elétrica ao sistema. As cargas de corrente contínua (cc) podem ser alimentadas diretamente pela bateria. O inversor será necessário para a alimentação das cargas de corrente alternada (ca). O controlador de carga é responsável pela vida útil da bateria, impedindo-a de carregar ou descarregar demasiadamente (ALVARENGA, 2001).

2.3.2 SISTEMAS HÍBRIDOS

Um sistema de energia híbrido comumente consiste de duas ou mais fontes de energia renováveis empregadas em conjunto para proporcionar uma maior eficiência no sistema, bem como um maior balanceamento no fornecimento de energia.

As fontes de energia auxiliares podem ser, geradores eólicos, diesel, gás, gasolina e outros combustíveis, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Sistema Fotovoltaico híbrido com turbina eólica e módulos fotovoltaicos.



Fonte: CRESESB.

Necessitam haver sistemas de controle mais eficientes que os sistemas isolados de pequeno porte, pois são mais complexos devido à conexão de múltiplas formas de geração de energia elétrica.

São empregados em sistemas de maior porte, com potência gerada na faixa de dezenas e centenas de quilowatt-hora-pico (kWp).

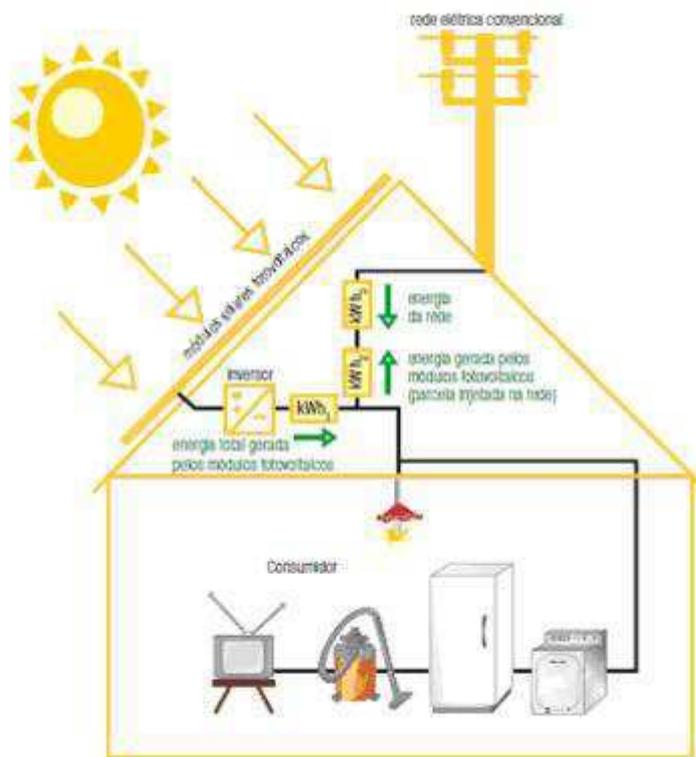
Devido à ampla complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo reservado para cada caso, exigindo ainda uma criteriosa análise econômica.

2.3.3 SISTEMAS CONECTADOS À REDE

Representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão integrados. Geralmente não empregam armazenamento de energia, pois toda a energia gerada é entregue diretamente à rede. Para a injeção de energia na rede são utilizados inversores especiais que devem satisfazer a severas exigências de qualidade e de segurança.

A potência fotovoltaica instalada neste tipo de sistema é muito variável, podendo atingir centenas de kWp em centrais fotovoltaicas e dezenas de kWp para alimentação de cargas residenciais.

Figura 3 – Sistema Fotovoltaico conectado à rede elétrica



Fonte: Ruther, 2004.

A Figura 3 representa um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica de distribuição, onde normalmente a energia é injetada na rede de baixa tensão e o medidor do usuário é bidirecional, efetuando um balanço entre a energia gerada e a consumida.

2.3.4 SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA

Um sistema fotovoltaico autônomo é constituído por um painel ou um conjunto de painéis fotovoltaicos, um regulador de carga, uma bateria ou banco de baterias e um inversor de corrente contínua para corrente alternada para atender ao conjunto moto-bomba e possíveis equipamentos elétricos que compõem o sistema de automação da irrigação alimentado com corrente alternada. Esses componentes têm a função de gerar energia elétrica a partir da radiação solar, adaptar as características de funcionamento do gerador fotovoltaico ao grupo moto-bomba, e transformar a energia elétrica em hidráulica, respectivamente.

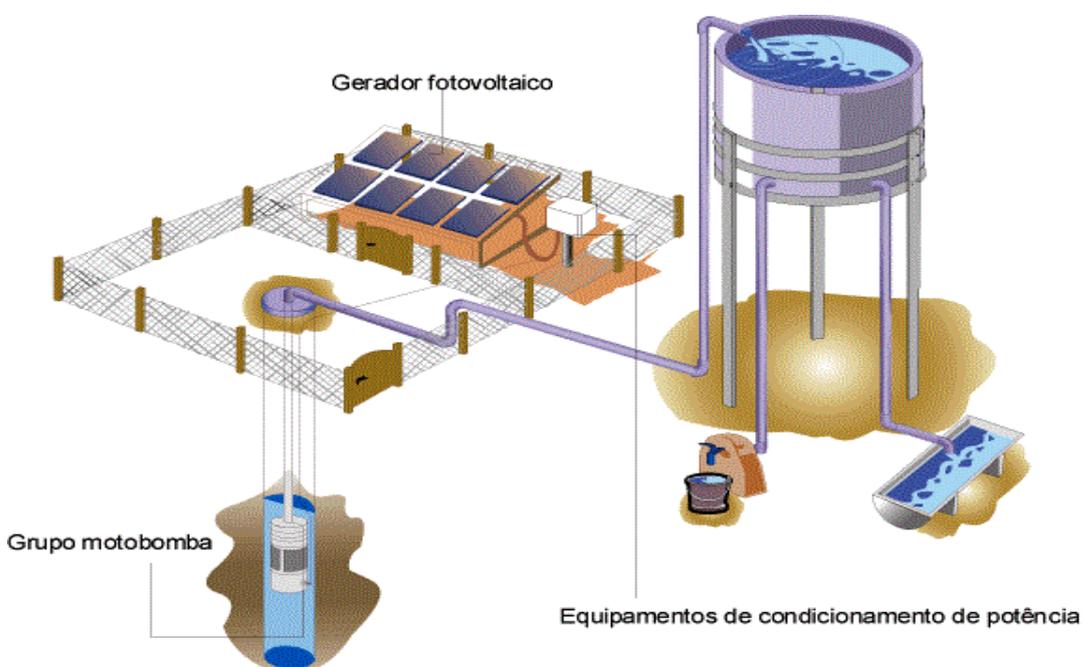
Existem casos de irrigação em que não se utiliza bateria; o armazenamento de energia é feito pelos reservatórios superiores de água, isto é, os reservatórios ao receberem

a água proveniente do sistema de bombeamento armazenam, ali, energia na forma potencial.

Quando há diminuição da potência do conjunto moto-bomba por redução de radiação solar, os reservatórios passam a abastecer automaticamente a área a ser irrigada, mantendo, assim, um fluxo de água constante durante todo o período da irrigação (SANTOS et al., 2007).

Na Figura 4 é apresentado um diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico de bombeamento com aplicações para consumo humano, animal e irrigação.

Figura 4 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico de bombeamento



Fonte: (FREDRIZZI, 2003)

A seleção feita em meio a variedade de equipamentos e configurações para o sistema fotovoltaico de bombeamento, é feita de acordo com as características da aplicação e da localização do empreendimento, levando-se em conta a viabilidade econômica e o tempo de vida útil do projeto.

- GERADOR FOTOVOLTAICO

Um sistema de geração fotovoltaica tem como elemento básico o módulo, que por sua vez é composto de células conectadas em arranjos com a finalidade de obtenção de tensão e corrente em níveis adequados para utilização (MOEHLECKE, 2005). O mesmo deve ser montado sobre uma estrutura feita de material resistente às condições climáticas do local. Podendo ser a estrutura do tipo móvel ou fixo.

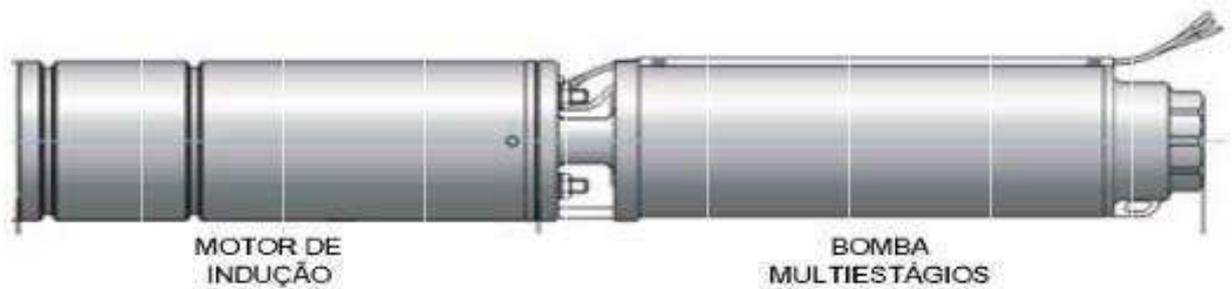
Para o tipo móvel, são usados sistemas para maximizar a captação da irradiação solar, aumentando portanto, a quantidade de água bombeada. Já nas estruturas do tipo fixo, a escolha da captação feita pelo sistema fotovoltaico vai depender do balanço entre a irradiação solar, a pluviometria e as necessidades de água dos cultivos.

- CONJUNTO MOTOBOMBA

As motobombas empregadas em poços artesianos se caracterizam por terem em um mesmo bloco o motor de indução (alguns fabricantes utilizam motores de corrente contínua sem escovas) e uma bomba centrífuga multiestágios (em alguns casos, os fabricantes empregam bombas helicoidais ou de deslocamento positivo), formando um conjunto único, Figura 5. Contudo, as motobombas centrífugas multiestágios são as mais comuns no mercado convencional. Portanto, esse equipamento já é padronizado no mercado elétrico convencional, mas, quando se trata de empregá-lo em sistemas fotovoltaicos, atenção especial deve ser dada à qualidade da motobomba (preferencialmente de materiais resistentes a corrosão e atóxicos), pois o sistema irá operar em lugares afastados da rede elétrica convencional (geralmente comunidades isoladas) e em muitas ocasiões fornecerá água para consumo humano.

A eficiência do conjunto motobomba gira em torno de 30% a 60%, variando de acordo com o tipo de motor, da bomba e do sistema de transmissão de potência. O conjunto deve ser adequadamente escolhido afim de se aumentar a eficiência de operação.

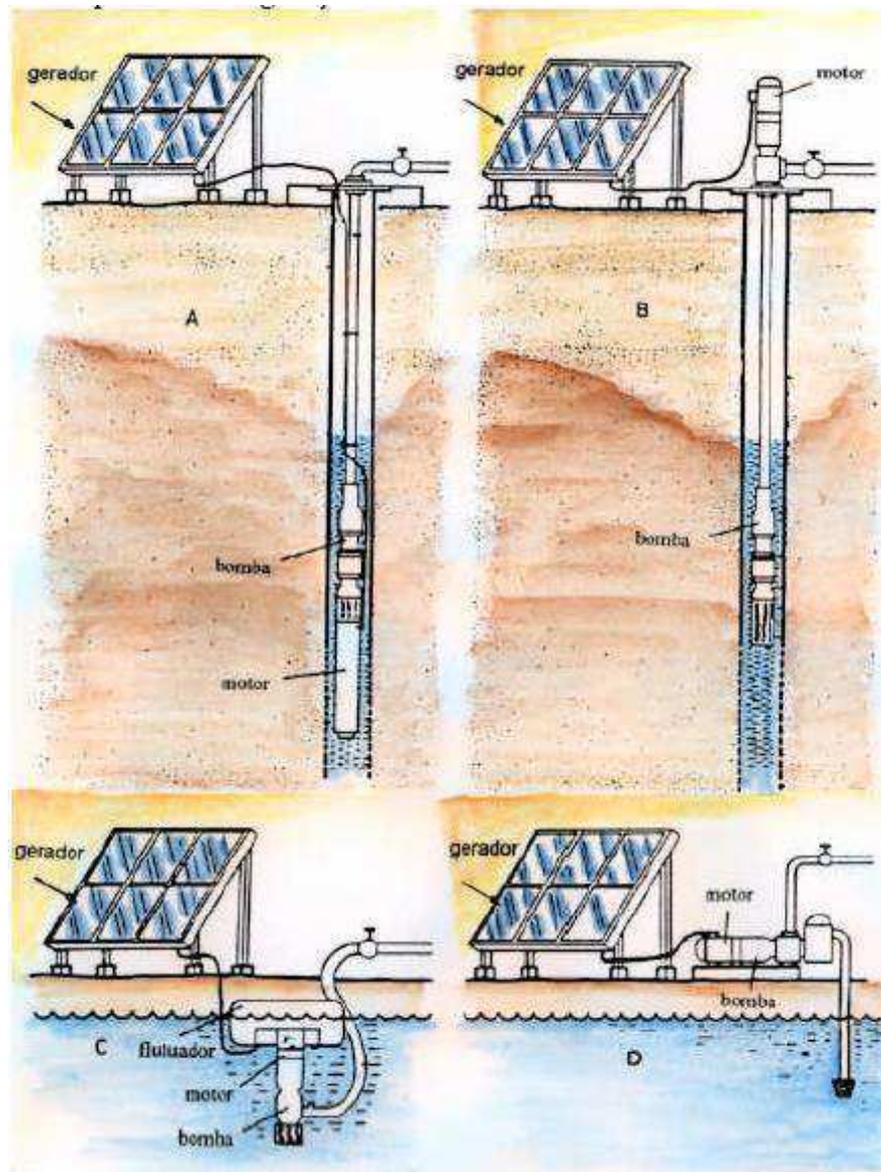
Figura 5 – Conjunto Motobomba



Fonte: Adaptado de Gurgel, 2006.

Conforme ilustrado na Figura 6, existem quatro configurações básicas de posicionamento do grupo motobomba no sistema. O esquema A, caracterizado por poço tubular com grupo motobomba em posição submersa, é amplamente utilizado em poços profundos com bombas centrífugas multiestágios ou de deslocamento positivo do tipo helicoidal. O esquema B utiliza equipamento do tipo injetor com motor na superfície e a bomba na posição submersa, são pouco utilizados principalmente por causa da baixa eficiência do sistema. No esquema C, chamado de sistema flutuante, a motobomba se encontra na posição submersa posicionada em um flutuador. No esquema D o grupo motobomba encontra-se na superfície próximo do nível da água, pois funciona com um mecanismo de sucção. Os dois últimos são (FEDRIZZI et al., 1997).

Figura 6 – Exemplos de Configuração de Sistemas de Bombeamento



Fonte: FEDRIZZI, 1997.

2.4 TIPOS DE ACOPLAMENTO ENTRE O GERADOR FOTOVOLTAICO E O CONJUNTO MOTOBOMBA

Há três formas de acoplamento entre o gerador fotovoltaico e o conjunto motobomba: direto para sistemas em corrente contínua, usando baterias e um sistema de controle de carga, ou usando equipamento de condicionamento de potência.

2.4.1 ACOPLAMENTO DIRETO

O acoplamento direto de bombas movimentadas por um motor de corrente contínua com um arranjo fotovoltaico é largamente utilizado, sobretudo em sistemas fotovoltaicos de bombeamento de pequeno porte (de 50 até 400 Wp), graças à sua simplicidade e economia.

2.4.2 ACOPLAMENTO COM BATERIAS

As baterias podem funcionar como sistema de condicionamento de potência ou armazenamento de energia, em um sistema fotovoltaico de bombeamento. No primeiro caso as mesmas mantem uma tensão constante de trabalho, apresentando um valor próximo ao ponto de máxima potência do gerador fotovoltaico. Já no segundo caso as mesmas permitem a operação fora do horário de trabalho.

2.4.3 ACOPLAMENTO COM CONDICIONAMENTO DE POTÊNCIA

A ligação entre o gerador fotovoltaico e o sistema motobomba é feito por equipamentos com algum tipo de sistema de condicionamento de potência. Controlando a energia cedida a motobomba, e aumentando a eficiência do sistema. Estes sistemas são responsáveis pela proteção da motobomba com eliminação de perturbações elétricas resultantes, e realizam o controle do arranque e paradas da bomba, além da conversão CC a CA ou mudança de tensão CC – CC.

Entre os principais equipamentos de condicionamento de potência estão os conversores CC – CC, booster, inversores CC – CA e conversores de frequência.

- a) Conversor CC / CC

Este conversor é um este pequeno dispositivo eletrônico que absorve a potência do arranjo fotovoltaico a uma tensão fixa, e se comporta como um gerador de corrente, acionando o motor de corrente acoplado à bomba.

Na entrada, a tensão pode ser escolhida próxima do ponto de máxima potência e aproveitar a máxima irradiância disponível. A maioria dos dispositivos comerciais (CC/CC) apresentam uma tensão de entrada ajustada por hardware. O desempenho do dispositivo está relacionado somente ao arranjo fotovoltaico e às condições meteorológicas do lugar, independentemente da configuração da motobomba.

Na saída, a potência é transmitida ao motor em um ponto ótimo de corrente e tensão, que corresponde à potência disponível.

b) Booster

Algumas bombas de deslocamento positivo requerem um pico de corrente significativo (em baixas voltagens) durante o arranque, de forma a superar as forças internas de atrito. Além disto têm-se também a falta de irradiância solar suficiente durante o nascer do sol.

Afim de solucionar este problema, um dispositivo eletrônico chamado booster é instalado, o mesmo armazena uma quantidade de energia produzida pelo arranjo fotovoltaico em um capacitor e alimenta a motobomba com uma corrente de pico.

c) Inversor CC / CA

Uma bomba acionada por um motor de indução de corrente alternada precisa de um inversor ou conversor de potência. Fabricantes de motobombas dedicadas à tecnologia fotovoltaica projetam inversores especiais para este propósito. Nesses casos, eles não especificam os valores intermediários (tensão, corrente e frequência) entre a saída do conversor e a entrada da motobomba.

d) Conversor de frequência CC / CA

Em alguns países, são utilizadas configurações alternativas, baseadas no uso de conversores de frequência acoplados a motobombas centrífugas submersíveis, ambos de uso comercial. Isso permite escolher qualquer motobomba não dedicada ao uso solar, pois

o mercado desses equipamentos é maior do que o mercado solar, resultando em uma redução de 16 custos e ampliação da faixa de potências para sistemas fotovoltaicos de bombeamento (ALONSO ABELLA, 2003; BRITO, 2006).

Desde meados da década de 1960, o conversor de frequência tem passado por várias e rápidas mudanças, principalmente pelo desenvolvimento da tecnologia dos microprocessadores e semicondutores e pela redução de seus custos. Entretanto, os princípios básicos dos conversores de frequência continuam os mesmos (MATHEUS, 2007; GURGEL, 2006).

2.5 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO

Devido a periodicidade diária solar, utilizam-se mecanismos para o armazenamento desta energia, de forma que o sistema possa ser utilizado a qualquer momento. Pode-se armazenar a água em reservatórios, ou armazenar parte ou totalidade da energia produzida em baterias.

2.5.1 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO COM BATERIAS

Também conhecidas como acumuladores eletroquímicos, as baterias são uma importante forma de armazenamento de energia, pois são capazes de transformar diretamente energia elétrica em energia potencial química e posteriormente converter, diretamente, a energia potencial química em elétrica. Cada bateria é composta por um conjunto de células eletroquímicas ligadas em série obtendo-se a tensão elétrica desejada. As mesmas podem ser classificadas em primária ou secundária. As baterias primárias não podem ser recarregadas, ou seja, uma vez esgotados os reagentes que produzem energia elétrica, devem ser descartadas. As secundárias podem ser recarregadas através da aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais.

2.5.2 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO COM RESERVATÓRIO

Devido os sistemas fotovoltaicos de bombeamento só fornecerem água durante as horas de irradiação solar, é necessário que o sistema conte com um tanque de armazenamento de água. Armazenar água em tanques é muito mais econômico do que armazenar energia em baterias, visto que após uma média de quatro anos ou menos as baterias precisam ser trocadas, enquanto que a vida útil de um tanque de armazenamento bem construído é de várias décadas. O armazenamento de energia em baterias geralmente se justifica quando o rendimento máximo do poço durante as horas de sol é insuficiente para satisfazer as necessidades diárias de água e quando se requer bombear água durante a noite. Em longo prazo é mais econômico e viável perfurar outro poço do que implementar um banco de baterias. A introdução de um banco de baterias em um sistema fotovoltaico de bombeamento pode diminuir sua confiabilidade e incrementar seus custos de manutenção. Os reservatórios de água podem ser de materiais como PVC, fibra de vidro, polietileno, concreto, metal ou até mesmo escavações no terreno impermeabilizadas com material sintético ou com argila compactada.

A quantidade de água bombeada é alterada pela altura do bombeamento. Quanto maior o deslocamento vertical da água maior a quantidade de energia necessária. Quanto maior a profundidade da água e a elevação do reservatório menor será a quantidade de água bombeada, ou então maior e mais caro será o gerador solar. A distância horizontal entre o ponto de captação da água e o reservatório também é importante. Quanto maior é esta distância, maior é a perda de energia exigindo um gerador solar com maior capacidade de geração.

A configuração mais utilizada para sistemas de irrigação é o reservatório elevado, além de uma operação simples. Como a altura do reservatório determina a pressão de trabalho do sistema, pode-se aproveitar o relevo do lugar para a elevação do tanque.

O volume de água a ser armazenado depende diretamente das condições climáticas, tipo de solo, demanda hídrica e disponibilidade financeira do projeto. Além destes, o volume de água armazenado depende do tempo de autonomia desejado.

2.6 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

O dimensionamento de um sistema de bombeamento incide, necessariamente, em determinar a potência de pico do gerador fotovoltaico, escolher a motobomba e o tipo de controlador eletrônico eventualmente necessário. Para isso é preciso conhecer as necessidades de água, as características do poço, as alturas manométricas envolvidas, as características da insolação local, entre outras situações do projeto.

2.6.1 NECESSIDADES DE ÁGUA

As necessidades de água devem ser levantadas como em um sistema convencional, sendo a quantidade de água bombeada proporcional aos custos, principalmente do gerador fotovoltaico. Essas necessidades devem ser cuidadosamente levantadas com base nas características locais, no sistema de distribuição de água adotado e nas possibilidades de uso da água (animais, irrigação etc.).

2.6.2 PARTICULARIDADES DO POÇO E ALTURAS MANOMÉTRICAS

Deve-se levar em conta as características do poço, especialmente o nível estático e dinâmico, e as capacidades de fornecimento de água para as épocas mais críticas do ano, confrontando-as com as necessidades de água da comunidade. Preocupar-se para que as necessidades de água não sejam superiores à capacidade do poço. Decidida a posição do reservatório podem-se calcular as alturas manométricas envolvidas para os diferentes níveis de água do poço.

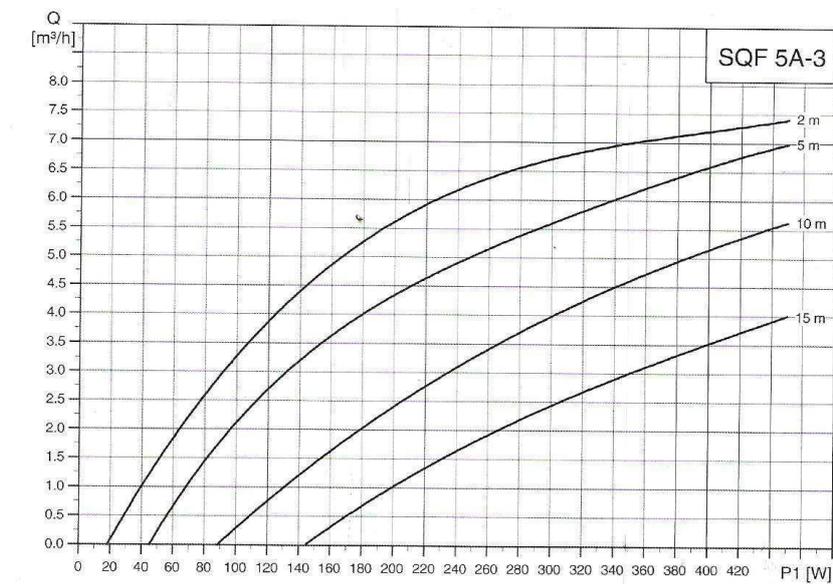
2.6.3 SELEÇÃO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO E DA POTÊNCIA DO GERADOR FOTOVOLTAICO

A altura manométrica, em metros de coluna de água e a vazão de água, em metros cúbicos por dia são os parâmetros básicos para se selecionar o sistema de bombeamento. Comumente, as bombas de deslocamento positivo são mais adequadas para baixas vazões e alturas maiores e as bombas centrífugas submersíveis para vazões mais elevadas e alturas médias.

A forma mais apropriada para seleção da motobomba, do controlador/inversor e da capacidade do gerador fotovoltaico é trabalhar com as curvas dos fabricantes de

motobombas específicas para sistemas fotovoltaicos. Na Figura 7 verifica-se a curva característica de um fabricante com o comportamento de uma motobomba para várias condições de vazão de água, altura manométrica e potência elétrica.

Figura 7 – Curva relacionando a vazão d'água (m³/h), altura manométrica (m) e potência elétrica (W) de uma motobomba



Fonte: Grundfos.

3 APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS ESTUDADOS

Neste capítulo são apresentadas informações obtidas em visitas de campo e revisão bibliográfica de artigos. Foi feita análise e verificação de dificuldades e fatores para implementação de projetos de bombeamento com sistemas fotovoltaicos.

3.1 IMPLANTAÇÃO DA UDES – UNIDADE DEMONSTRATIVA COM USO DA ENERGIA SOLAR NA FRUTICULTURA FAMILIAR IRRIGADA - GALANTE

Tendo-se em vista a importância socioeconômica da fruticultura familiar irrigada no semiárido paraibano e seguindo a tendência mundial pela busca de tecnologias alternativas integradas a mecanismos de desenvolvimento limpo, a EMEPA-PB (Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba) desenvolveu a tecnologia “Energia Solar – uma alternativa para a pequena irrigação” que, integrada aos princípios de rentabilidade não agressão ao meio ambiente, tem possibilitado a amortização de todos os custos de operacionalização e manutenção já no terceiro ciclo de produção devido à economia de água e mão-de-obra e, principalmente, à inexistência de despesas com energia elétrica e versatilidade dos sistemas explorados (Santos et al., 2006).

Seguindo-se metodologias recomendadas pela EMBRAPA, diversas instituições de pesquisa agropecuárias criaram escritórios ou comissões similares destinados à transferência e inovação de tecnologias nas áreas de: produção de alimentos, melhoramento animal, energia alternativa, entre outras áreas de pesquisa científica.

Com este objetivo, foi instalada uma UDES na comunidade de Surrão dos Poços, em Galante, PB, com o consórcio de pimentão, berinjela, couve; visando oferecer fontes alternativas para a geração de energia a ser usada na fruticultura familiar irrigada, associadas ao aumento da produção, da renda e, sobretudo, à elevação do nível tecnológico proporcionada pela transferência da tecnologia a eles disponibilizada.

3.1.1 ÁREA DE CULTIVO E SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A área de cultivo é de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de hectare, com sistema instalado para eficiência do uso de água na irrigação por micro aspersão, injetando água diretamente na folhagem, conforme pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Sistema de irrigação por micro aspersão para milho



Fonte: o próprio autor.

3.1.2 SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO

Segundo dito anteriormente, o sistema é composto por um conjunto motobomba alimentado diretamente por um gerador fotovoltaico. O conjunto motobomba, foi instalado sobre um poço, próximo do reservatório de água, conforme será ilustrado adiante.

a) Gerador fotovoltaico

Foi utilizado um único módulo solar de células policristalinas SUNMODULE, Policristal R6A SW 140, com potência de 140 W, Figura 9. A placa tem dimensões de 1508 x 680 x 34 (mm) e pesa 11,8Kg.

Figura 9 – Módulo Solar



Fonte: o próprio autor.

Conforme o fabricante, a vida útil do painel é de 20 anos. Na Tabela 1 consta especificações elétricas do módulo. Todos os parâmetros das características elétricas são testados nas condições STC: 1000W/m², AM 1,5, 25°C.

Tabela 1 – Especificações elétricas do módulo

Parâmetro	SW140
Potência máxima	140Wp
Tensão de circuito aberto	22,1V
Tensão do ponto de potência máximo	18,0V
Corrente de curto circuito	8,35A
Corrente do ponto de potência máximo	7,85A

Fonte: Modificado de Exxa Global, 2014.

b) Conjunto Motobomba

Dentre os principais fatores para escolha do grupo motobomba, estão a potência requerida para atingir a altura manométrica necessária, vazão e eficiência. Bombas do tipo centrífuga são eficazes a pequenas alturas e grandes vazões, e bombas de

deslocamento positivo são indicadas para pequenas vazões e grandes alturas manométricas.

No projeto foi utilizado um conjunto motobomba SHURFLO 2088-443-144 (funciona em 12 Vcc e possui consumo máximo de 9,9A), ver Figura 10. O poço tem altura manométrica de 5 metros.

Figura 10 – Conjunto Motobomba



Fonte: o próprio autor.

As características de desempenho típico do conjunto motobomba estão dispostas na Tabela 2.

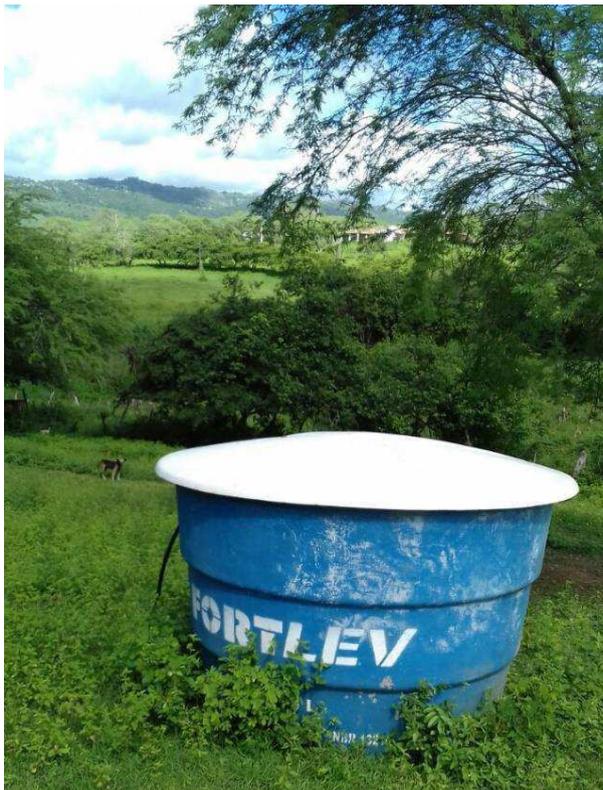
Tabela 2 – Desempenho típico SHURFLO 2088-443-144

Altura Manométrica	Vazão	Consumo
Fluxo aberto	13,2 L/min.	5,3 AMPS
7mca (10PSI)	10,7 L/min	5,8 AMPS
14mca (20PSI)	9,7 L/min	7,0 AMPS
21mca (30PSI)	8,7 L/min	8,0 AMPS
28mca(40PSI)	7,6 L/min	9,1 AMPS
35mca (50PSI)	6,6 L/min	9,9 AMPS

Fonte: Modificado de Exxa Global, 2014.

Um reservatório de 5.000 litros foi instalado sem necessidade de elevação devido a condição do terreno, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Reservatório



Fonte: o próprio autor.

3.2 IMPLANTAÇÃO DA UDES – UNIDADE DEMONSTRATIVA COM USO DA ENERGIA SOLAR NA FRUTICULTURA FAMILIAR IRRIGADA – CATOLÉ DE BOA VISTA

Com a instalação do mesmo sistema, sendo desta vez, instalada uma UDES na comunidade de Açude de Dentro, Catolé de Boa Vista, PB, com o consórcio de hortaliças,

tais como coentro, alface, além de milho, sorgo e capim elefante; A pecuária de leite era uma atividade já desenvolvida na comunidade, produzindo uma média de 15 litros de leite diários, servindo o sistema para produção da alimentação dos animais, que por sua vez produzem o leite, que por fim fabrica-se o queijo.

Se fez necessário ajustar as condições apresentadas, devido às limitações das hortaliças quanto ao uso da água em razão do teor de sal, porém a água produzida pelo sistema de gotejamento respondeu muito bem para os plantios de milho, sorgo e capim elefante.

3.2.1 ÁREA DE CULTIVO E SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A área de cultivo é de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de hectare, com sistema instalado inicialmente para eficiência do uso de água na irrigação por micro aspersão, porém devido ao problema da salinidade afetar diretamente o plantio, fez-se a mudança para irrigação por gotejamento, conforme é ilustrado abaixo.

Figura 12 – Sistema de irrigação por gotejamento para hortaliças



Fonte: o próprio autor.

Conforme mencionado acima, a Figura 13 ilustra o plantio afetado diretamente pela salinidade.

Figura 13 – Plantio afetado pela salinidade no sistema de irrigação por micro aspersão para hortaliças



Fonte: o próprio autor.

3.2.2 SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO

Conforme já mencionado, o sistema é composto por um conjunto motobomba alimentado diretamente por um gerador fotovoltaico. O conjunto motobomba, foi instalado sobre um poço, próximo do reservatório de água elevado, conforme será ilustrado adiante.

a) Gerador fotovoltaico

Foi utilizado um único módulo solar de células policristalinas SUNMODULE, Policristal R6A SW 140, com potência de 140 W, Figura 14. A placa tem dimensões de 1508 x 680 x 34 (mm) e pesa 11,8Kg.

Figura 14 – Módulo Solar



Fonte: o próprio autor.

Conforme o fabricante, a vida útil do painel é de 20 anos. Na Tabela 3 é mostrada especificações elétricas do módulo. Todos os parâmetros das características elétricas são testados nas condições STC: $1000\text{W}/\text{m}^2$, AM 1,5, 25°C .

Tabela 3 – Especificações elétricas do módulo

Parâmetro	SW140
Potência máxima	140Wp
Tensão de circuito aberto	22,1V
Tensão do ponto de potência máximo	18,0V
Corrente de curto circuito	8,35A
Corrente do ponto de potência máximo	7,85A

Fonte: Modificado de Exxa Global, 2014.

b) Conjunto Motobomba

No projeto foi utilizado um conjunto motobomba SHURFLO 2088-443-144 (funciona em 12 Vcc e possui consumo máximo de 9,9A), ver Figura 15. O poço tem altura manométrica de 25 metros, e um reservatório de 5.000 litros foi instalado com necessidade de uma elevação de 5 metros, devido a condição do terreno, como pode-se ver na Figura 16.

Se fez necessária a ajuda da eletricidade convencional, devido a bomba não ter capacidade em razão da profundidade do poço (25 metros), sendo esta capaz de trabalhar em até no máximo 5 metros.

Figura 15 – Conjunto Motobomba



Fonte: o próprio autor.

Tabela 4 – Desempenho típico SHURFLO 2088-443-144

Altura Manométrica	Vazão	Consumo
Fluxo aberto	13,2 L/min.	5,3 AMPS
7mca (10PSI)	10,7 L/min	5,8 AMPS
14mca (20PSI)	9,7 L/min	7,0 AMPS
21mca (30PSI)	8,7 L/min	8,0 AMPS
28mca(40PSI)	7,6 L/min	9,1 AMPS
35mca (50PSI)	6,6 L/min	9,9 AMPS

Fonte: Modificado de Exxa Global, 2014.

Figura 16 – Reservatório com elevação



Fonte: o próprio autor.

3.3 PROCASE

O Projeto de Desenvolvimento Sustentável do Cariri, Seridó e Curimataú - PROCASE é resultado da parceria entre o Governo do Estado da Paraíba e o Fundo Internacional para o Desenvolvimento Agrícola (FIDA), instituição da Organização das Nações Unidas (ONU). O referido Projeto, tem por objetivo contribuir para o

desenvolvimento rural sustentável no semiárido paraibano, reduzindo os atuais níveis de pobreza rural e fortalecendo as ações de combate à desertificação.

O projeto consta de cinco unidades piloto de SFVI, sendo a visitada localizada na comunidade de Malhada Grande, Coxixola -PB.

Os sistemas foram administrados e gerenciados pela EMATER, contando com a participação ativa das comunidades na seleção de áreas agrícolas, manutenção e operação do sistema, além da coleta de dados.

O sistema desenvolvido é formado por um conjunto motobomba alimentado diretamente por um gerador fotovoltaico com potência de 150 W, a esta estrutura cabe atender a irrigação de uma unidade agrícola.

3.3.1 ÁREA DE CULTIVO E SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A área de cultivo é de aproximadamente 1 hectare, com sistema instalado para eficiência do uso de água na irrigação, conforme pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 – Sistema de irrigação por gotejamento para feijão



Fonte: o próprio autor.

3.3.2 SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO

Conforme dito anteriormente, e melhor visualizado nas figuras seguintes, o sistema é composto por um conjunto motobomba alimentado diretamente por um gerador

fotovoltaico. O conjunto motobomba, foi instalado sobre um poço, próximo do reservatório de água.

a) Pannel Fotovoltaico

Foi utilizado um único módulo solar de células policristalinas CANADIAN SOLAR CS6C – 150P, com eficiência energética de 15,1%, com potência de 150 W, Figura 18. A placa tem dimensões de 1485 x 666 x 40 (mm) e pesa 12Kg.

Figura 18 – Módulo Solar



Fonte: o próprio autor.

Conforme fabricante, a vida útil do painel é de 20 anos. A tabela 5 mostra especificações elétricas do módulo. Todos os parâmetros das características elétricas são testados nas condições STC: 1000W/m², AM 1,5, 25°C.

Tabela 5 – Especificações elétricas do módulo

Parâmetro	SW150
Potência máxima	150Wp
Tensão de máxima potência	18,1V
Corrente da máxima potência	8,30A
Tensão de circuito aberto	22,3V
Corrente do curto-circuito	8,87A

Fonte: Modificado de Exxa Global, 2014.

b) Conjunto Motobomba

No projeto foi utilizado um conjunto motobomba SHURFLO 2088-443-144 (funciona em 12 Vcc e possui consumo máximo de 9,9A), ver Figura 19. O poço tem altura manométrica de 5 metros.

Figura 19 – Conjunto Motobomba



Fonte: o próprio autor.

Tabela 6 – Desempenho típico SHURFLO 2088-443-144

Altura Manométrica	Vazão	Consumo
Fluxo aberto	13,2 L/min.	5,3 AMPS
7mca (10PSI)	10,7 L/min	5,8 AMPS
14mca (20PSI)	9,7 L/min	7,0 AMPS
21mca (30PSI)	8,7 L/min	8,0 AMPS
28mca(40PSI)	7,6 L/min	9,1 AMPS
35mca (50PSI)	6,6 L/min	9,9 AMPS

Fonte: Modificado de Exxa Global, 2014.

Um reservatório de 5.000 litros foi instalado sobre uma base de elevação, conforme ilustração que segue.

Figura 20 – Reservatório elevado



Fonte: o próprio autor.

4 BENEFÍCIOS, DIFICULDADES E POTENCIALIDADES ENCONTRADOS DURANTE A IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS

4.1 BENEFÍCIOS

Dentre os benefícios decorrentes pela implementação do sistema fotovoltaico de bombeamento estão:

- Redução dos custos de operação, devido a substituição dos sistemas de geração a diesel;
- Aumento da produção, devido ao acesso mais fácil e confiável a água;
- Minimização dos riscos de perda de safra, devido a variação na produção, visto que a estiagem não iria afetar suas colheitas em razão do fornecimento constante de água com o SFVI;
- Criação de empregos, diretos e indiretos em virtude do aumento de período de cultivo e oferta de novos produtos.
- Diminuição dos impactos ambientais, evitando a poluição de poços e solos por vazamento de combustíveis, além da redução de resíduos plásticos na propriedade, como nas embalagens de combustíveis e lubrificantes. Além da redução de infiltração e contaminação dos solos e lençol freático, devido ao uso de técnicas de irrigação localizada;
- Tempo menor para bombeio de água, devido a automatização das atividades de bombeamento permitidas pelo uso de reservatório de água; permitindo o aproveitamento do tempo em outras atividades complementares de geração de renda e trabalhos domésticos;
- Segurança alimentar, devido ao aumento da produção e da diversificação de alimentos e o incremento da renda, permitindo variar a cesta básica familiar;
- Redução do êxodo rural, visto que com a implementação do SFVI, os beneficiários podem melhorar sua qualidade de vida sem a necessidade de deslocar-se.

4.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Dentre as barreiras para inserção e implementação em grande escala do uso da energia fotovoltaica, estão:

- Barreiras financeiras e econômicas, devido aos altos custos para investimento inicial e poucos esquemas de financiamento, devendo se estudar a que condições o investimento dos SFVI é economicamente competitivo se comparado a outras opções de geração de energia. No Brasil existe o sistema de crédito do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF, para benefício dos pequenos agricultores rurais;
- Barreiras técnicas, devido a importação dos equipamentos do sistema;
- Barreiras informativas, devido à falta de conhecimento relacionada a existência deste tipo de tecnologia ou o fato de acreditar que a mesma apresenta um investimento de excessivo risco, dificultando a adoção e aquisição dos SFVI;
- Barreiras comerciais, devido ao pouco alcance de difusão se comparado com outras indústrias de fontes de energia convencionais. Por isso, não existe em muitos lugares a infraestrutura adequada para comercialização, promoção, manutenção e assistência técnica dos equipamentos dos SFV.

4.3 POTENCIALIDADES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS

FOTOVOLTAICOS DE IRRIGAÇÃO NO BRASIL

4.3.1 RECURSO SOLAR

O potencial brasileiro para energia solar é enorme. A Região Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação solar global, com a maior média e a menor variabilidade anual entre todas as regiões geográficas.

Os valores máximos de irradiação solar no país são observados na região central da Bahia (6,5kWh/m²/dia), incluindo, parcialmente, o noroeste de Minas Gerais. Há, durante todo o ano, condições climáticas que conferem um regime estável de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar para essa região semiárida.

4.3.2 EXISTÊNCIA DE LUGARES SEM ACESSO À REDE ELÉTRICA

Estimativas feitas pela IEA, mostram que em 2030, 1,2 bilhões de pessoas ainda não terão acesso à eletricidade. Fatores como a grande dispersão dos consumidores potenciais e demanda pequena, o limitado poder de compra para consumo de energia elétrica e compra de equipamentos elétricos, além da dificuldade de faturamento e manutenção do serviço, geralmente são responsáveis pelas baixas taxas de eletrificação nas regiões rurais.

Devido ao baixo investimento inicial e de operação, bem como de uma maior diversidade de motobombas e materiais de reposição, é preferível o uso da rede elétrica quando esta está disponível. Porém em algumas regiões rurais brasileiras, a extensão da rede elétrica pode ser inviável, devido a razões técnicas, ambientais ou econômicas, tornando como únicas soluções possíveis a geração local com sistemas de combustão interna ou fotovoltaicos.

4.3.3 VARIEDADE DA OFERTA LOCAL DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO E REDUÇÃO DOS PREÇOS DOS SISTEMAS NO MERCADO LOCAL

A maior parte das empresas do setor de produção de células solares e módulos fotovoltaicos está na Ásia. A tecnologia do silício domina o mercado. Poucas empresas são verticalizadas, isto é, produzem a matéria-prima e os produtos desde a purificação do silício até a instalação dos módulos fotovoltaicos. Nesse setor, enquadram-se as diferentes tecnologias de fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos.

O aumento da oferta de produtos com melhor desempenho e custo, deu-se pelos avanços tecnológicos na fabricação de motobombas e equipamentos de condicionamento de potência, alguns deles fabricados no Brasil. Com a produção de mais equipamentos no país, aumenta a possibilidade de substituição de equipamentos de origem externa por nacionais. Entretanto, ainda é necessário apoio governamental para estimular a oferta em

todas as regiões, além da criação de laboratórios de qualificação de equipamentos, afim de garantir o bom desempenho dos mesmos.

4.3.4 DESENVOLVIMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA FAMILIAR NO NORDESTE

O clima do semiárido é propício para produção de várias culturas, sem levar em conta a irregularidade do regime de chuvas. Sob regime de irrigação, algumas culturas apresentam uma boa produtividade da região Nordeste; dentre elas encontram-se abacaxi, uva, manga, banana, feijão, cebola e limão.

Devido ao elevado custo, e as condições escassas de aquisição para os agricultores, se o SFVI for pago pelos mesmos, será necessário que o investimento inicial tenha o menor tempo de retorno possível. Sendo isto possível, caso o produto tenha um alto valor agregado e um mercado de compra de produção garantido e com um bom preço.

Dentre os parâmetros que definem o agricultor familiar estão propriedade de menos de quatro módulos fiscais, utilização de mão de obra exclusiva da própria família, renda gerada desta atividade e direção do empreendimento com a família.

5 INDICAÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO DO SFVI

Neste capítulo são sugeridas recomendações para implementação de SFVI objetivando sua aplicação para geração de renda e alcance de benefícios relatados anteriormente.

5.1 INDICAÇÕES GERAIS PARA CONCEPÇÃO DO PROJETO

Inicialmente é recomendado estudo prévio adicionado de trabalhos de coordenação, seguidos da concepção do projeto e compra do Sistema de bombeamento fotovoltaico, as etapas em sequência são o transporte de equipamentos e instalação, capacitação, organização, monitoramento, manutenção e por fim avaliação dos resultados.

Para realização do projeto com sistemas fotovoltaicos de irrigação se faz necessário o conhecimento sobre os futuros usuários, peculiaridades e aspirações. Para obtenção desses dados são realizadas visitas de campo, além da consulta com atores externos envolvidos no desenvolvimento da comunidade, afim de se obter uma visão completa da comunidade.

É de grande importância que as considerações econômicas sejam criteriosamente avaliadas ao se cogitar um sistema de bombeamento para uma aplicação específica. O custo do bombeamento fotovoltaico deve ser confrontado com o custo da extensão de uma rede elétrica convencional e com o uso de um sistema de bombeamento convencional elétrico. Também se faz importante a comparação com o sistema a diesel e, mesmo, com o sistema manual. Essa comparação deve levar em conta, além do investimento inicial, os gastos de operação e manutenção e também as características específicas do local, do poço e da comunidade. Também é necessária a avaliação da infraestrutura necessária para manter o poço em funcionamento.

O custo pode variar desde R\$1.500,00 (para alturas manométricas até 40 metros e vazão de 1500 l/dia) até acima de R\$20.000,00 (para alturas manométricas 30 metros e vazões de 15.000 l/dia).

Dentre os principais fatores a serem avaliados para o planejamento de um melhor projeto estão:

a) Fatores técnicos:

- Direitos para o uso de águas e solos;
- Recurso solar abundante e de fontes hídricas adequadas para a agricultura local;
- Estudo dos períodos de irrigação conforme as culturas (sazonais ou permanentes) e da utilização do SFVI fora desses períodos;
- Existência de infraestrutura organizativa para a manutenção e operação do SFVI.

b) Fatores econômicos:

- Mercados compatíveis com a oferta e suas possíveis melhoras qualitativas e quantitativas;
- Problemas de produção e logística na cadeia produtiva;
- Afinidade e dependência da população à atividade agrícola;
- Existência de uma cultura empreendedora dos futuros beneficiários;

c) Fatores ambientais:

- Impactos ambientais no recurso hídrico, ecossistema agrícola e no solo;
- Impactos ambientais geradas pela implementação do sistema;

d) Fatores sociais:

- Existência de projetos complementares e seus resultados;
- Existência de uma organização de usuários;
- Acesso do projeto por parte dos futuros usuários;
- Impactos na comunidade segundo percentual de beneficiários.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA

A ocorrência de diversos problemas nos sistemas fotovoltaicos de bombeamento é devidos a instalações deficientes. A participação de técnicos e usuários é recomendável no processo de instalação. Imediatamente após a instalação, o desempenho do sistema deve ser testado (funcionamento e localização dos equipamentos, medidas de segurança, etc.)

5.2.1 INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS

É recomendado que a instalação dos módulos seja feita sobre uma estrutura estável e de boa fixação, em locais sem sombreamento, e com inclinações superiores a 10 graus, afim de se evitar o acúmulo de sujeira; a instalação do gerador pode ser feita sobre uma plataforma flutuante, caso a captação de água seja feita de um rio.

5.2.2 INSTALAÇÃO DA MOTOBOMBA

A instalação do conjunto motobomba deve ser feito conforme as recomendações do fabricante, e os cabos do motor devem estar protegidos contra as partes afiadas do poço, sendo este o caso.

5.2.3 INSTALAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA

O relevo do terreno deve ser aproveitado, se possível, para elevação do reservatório de água; é recomendável o uso de uma cobertura para redução de evaporação e aumento da temperatura da água.

6 CONCLUSÃO

No presente Trabalho de Conclusão de Curso fica evidente que o uso da água na irrigação é de essencial importância para o desenvolvimento das regiões rurais semiáridas dependentes da atividade agrícola. Os projetos estudados revelam o potencial dos sistemas de bombeamento fotovoltaicos, e em base das experiências em análise constata-se a importância do reconhecimento da tecnologia.

Destaca-se ainda que esta alternativa tecnológica se mostrou tecnicamente viável, realizando a associação perfeita entre a fonte energética, a irradiação solar e a necessidade de água. As regiões secas onde os experimentos foram analisados possuem altos níveis de irradiação, e em épocas que esses níveis diminuem, a necessidade de água se mostra menor, pois o solo permanece úmido por mais tempo devido à passagem de chuvas.

Desta forma, conclui-se que quando utilizado adequadamente, o sistema de bombeamento fotovoltaico tem possibilitado fonte de energia renovável, diversidade de oferta de energia, energia alternativa para bombeamento de água na pequena irrigação, economia de energia e água, além da geração e aumento da renda de agricultores familiares, que melhoraram sua qualidade de vida, e passaram a se organizar devido a constante produção proporcionada pelo uso do sistema.

Fica evidenciado que um sistema solar fotovoltaico necessita de acompanhamento por parte de técnicos e responsáveis pelo funcionamento e manutenção, devido à falta de instrução da população rural. Na comunidade de Malhada Grande, em decorrência da falta de assistência técnica os agricultores estão com seu sistema fora de funcionamento por aproximadamente seis meses (desde que o mesmo foi implantado).

REFERÊNCIAS

- NOGUEIRA, C. U. (2009) *Utilização de sistemas solar e eólico no bombeamento de água para uso a irrigação*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (p. 102).
- FIORENTINO, J. de J.(2004) *Análise do Desempenho de um Conjunto de Módulos Fotovoltaicos Aplicados para Energização Rural*. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- POZZEBON, E. J. (2003) *Demanda Hídrica para agricultura irrigada e sua influência nas análises de Pedidos de outorga de direito de uso de água*. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba.
- BEZERRA, P. (2002) *Bombeamento de água fotovoltaico – problemas na implementação de um programa de utilização ampla: PRODEEM*. VIII Seminário Ibero-Americano de Energia Solar – Abastecimento de Água em Áreas Rurais Mediante Bombeamento Fotovoltaico, Recife.
- BENEDUCE, F.C.A (1999) *Energia solar fotovoltaica sem mistérios*. Banco do Nordeste, Fortaleza.
- SANTOS, E.C. dos; SOUZA, L.C. de; SOUTO, J.S.; ARAÚJO FILHO, J.B. (2006) *Energia solar: uma alternativa para a pequena irrigação*. Emepa/BNB, João Pessoa.
- OLIVEIRA, R. (2007) *Irrigação em pequenas e médias propriedades*. Centro de Produções Técnicas, Viscoça.
- SANTOS, F. J. (2007) *Energia solar na fruticultura irrigada familiar*. Tecnologia & Ciência Agropecuária, João Pessoa.
- VAN CAMPEN, B.; GUIDI, D.; BEST, G. (2000) *Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles*. FAO, Roma.
- SANTOS, F. J. (1997) *Irrigação localizada: microirrigação*. EMBRAPA – CNPAT/SEBRAE, Fortaleza.
- PIRES, R. C. M. (2008) *Agricultura irrigada*. Tecnologia & Inovação Agropecuária.
- HEINZE, B. (2002) *Importância da agricultura irrigada para o desenvolvimento da Região Nordeste do Brasil*. Monografia (MBA em Gestão sustentável da Agricultura Irrigada) ECOBUSINESS SCHOOL/FGV. Brasília

ANEXO A – DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE IRRIGAÇÃO

A.1 Nível de umidade de solo

Obtido com base em Bernardo (1995), corresponde ao volume de água a ser aplicado em cada evento de irrigação.

$$V = \frac{Ev \times Kp \times Kc \times A \times Tr}{Ea} - Pe \quad (1)$$

Em que,

V = Volume de água a ser aplicado na irrigação (litro.planta⁻¹.dia⁻¹);

Ev = Evaporação do tanque classe “A” (mm.dia⁻¹);

Kp = Coeficiente do tanque (adimensional);

Kc = Coeficiente do cultivo (adimensional);

A = Área ocupada por planta (m²);

Tr = Intervalo de irrigação (dia);

Pe = Precipitação efetiva (mm);

Ea = Eficiência de aplicação do sistema de irrigação (%);

A.2 Volume de água a ser aplicado (Vap)

$$V_{ap} = \frac{(CC - PM) \times da \times Pr \times (PAM)}{10} \quad (2)$$

Em que,

Vap = Volume de água a ser aplicado (m³);

CC = Capacidade de campo em peso (%);

PMP = Ponto de murcha permanente em peso (%);

Pr = Profundidade efetiva das raízes (m);

da = Densidade aparente (g/cm³);

PAM = Percentagem de área molhada em relação à área total irrigada, em decimal.

A.3 Tempo para a formação do bulbo úmido (TIB)

Obtido conforme Miranda (2005),

VLI = Vap

VBI = (Vap/Ea)

$$TIB = \frac{VBI \times \text{Espaçamento da cultura}}{(N^\circ \text{ de emissores por planta} \times \text{vazão do emissor})} \quad (3)$$

Em que,

Volume líquido inicial (VLI), em m³;

Volume bruto inicial (VBI), em m³;

Ea = Eficiência de aplicação, em decimal;

TIB, em hora: minuto.

A.4 Superfície Irrigada Equivalente (SIE)

Refere-se a área efetivamente irrigada pela ação dos emissores selecionados. Por conseguinte, formar-se-á uma faixa da superfície do solo permanecerá sem umidade. O número de emissores por planta e a respectiva superfície irrigada equivalente, foram determinados com base nas características físicas do solo.

$$SIE = \frac{3,1416 \times (\varnothing BU)^2}{4} \quad (4)$$

Em que,

SIE = Superfície irrigada equivalente (m²);

$\varnothing BU$ = Diâmetro do bulbo úmido com 1,0 emissor selecionado = 0,92m.

A.5 Coeficiente de Sombreamento (CS)

Obtido com base na copa e espaçamento da planta.

$$CS = \frac{\left[\frac{(\text{Diâmetro da copa da planta})^2 \times \pi}{4} \right] \times 100}{SP} \quad (4)$$

Em que,

CS = Coeficiente de sombreamento;

SP = Área ocupada pela planta;