

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ACIONAMENTO DE DOIS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO
ALIMENTADOS POR UMA CENTRAL DE MICROGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA**

TIAGO APARECIDO VICENTIN

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Setembro – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ACIONAMENTO DE DOIS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO
ALIMENTADOS POR UMA CENTRAL DE MICROGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA**

TIAGO APARECIDO VICENTIN

Orientador: Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Setembro – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

V633a Vicentin, Tiago Aparecido, 1985-
Acionamento de dois sistemas de bombeamento alimentados por uma central de microgeração fotovoltaica / Tiago Aparecido Vicentin. - Botucatu : [s.n.], 2014
x, 81 f. : fots. color., grafs., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014
Orientador: Odivaldo José Seraphim Inclui bibliografia

1. Bombeamento solar. 2. Energia solar. 3. Geração de energia fotovoltaica. 4. Bombas hidráulicas. I. Seraphim, Odivaldo José. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “ACIONAMENTO DE DOIS SISTEMAS DE BOMBAMENTO
ALIMENTADOS POR UMA CENTRAL DE MICROGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA”**

ALUNO: TIAGO APARECIDO VICENTIN

ORIENTADOR: PROF. DR. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM



PROF. DR. JAIR DE JESUS FIORENTINO



PROF. DR. JOSÉ FERNANDO PREZENÇO

Data da Realização: 05 de setembro de 2014.

A Nossa Senhora da Conceição Aparecida pelo apoio em minha fé.

A Valeria Cristiane Vieira, amiga e noiva que me acompanhou em todos os momentos dessa conquista.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelos dons da fortaleza, sabedoria e inteligência.

Aos meus pais Eliana e Aderson e a toda minha família que, com muita paciência compreensão e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim, pela amizade e apoio constante para a realização desse projeto.

Seria impossível citar todos os nomes dos meus caros amigos que no decorrer desses anos me apoiaram na realização desse trabalho, porém em especial, gostaria de agradecer aos amigos Eduardo Biral e Radames por me acompanharem em todos os momentos na realização desse trabalho.

A todo o pessoal do Departamento de Engenharia Rural da Unesp, que cuidaram dos detalhes imprescindíveis para que pudéssemos concluir com êxito esse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Eficiência energética	6
2.2 Relação entre água e energia.....	7
2.3 Energia Solar.....	8
2.4 Demanda de energia para o suprimento de água na agricultura	12
2.5 Sistemas fotovoltaicos	14
2.6 Características elétricas dos módulos fotovoltaicos	15
2.6.1 Eficiência do modulo fotovoltaico	17
2.6.2 Classificação dos sistemas fotovoltaicos.....	18
2.6.3 Sistemas isolados.....	18
2.6.4 Sistemas híbridos.....	20
2.6.5 Sistemas conectados a rede.....	20
2.7 Recursos hídricos em áreas remotas	21
2.7.1 Tecnologias de Bombeamento.....	22
2.8 Sistema fotovoltaico de bombeamento.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 Material	32
3.1.1 Sítio modelo.....	32
3.1.2 Caracterização dos sistemas	33
3.1.3 Sensor de radiação solar	35
3.1.4 Abrigo dos equipamentos e suporte das placas.....	36
3.2 Método.....	39
3.2.1 Ligação elétrica dos sistemas	40
3.2.2 Configuração do sistema hidráulico	42
3.2.3 Variação da altura manométrica.....	44
3.2.4 Sistema de Aquisição e processamento dos dados	45
3.2.5 Parâmetros calculados	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51

SUMÁRIO

4.1	Vazão em função da Irradiância.....	51
4.2	Vazão em função da potência consumida.....	55
4.3	Potência disponível e Potência consumida	64
4.4	Eficiências dos sistemas.....	69
4.5	Índice de bombeamento e índice de consumo	71
5	CONCLUSÃO.....	73
6	REFERÊNCIAS	74

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1- Eficiência média dos painéis	69
Quadro 2- Eficiência média motobomba.....	70
Quadro 3- Eficiência média global.....	71
Quadro 4-Índice de bombeamento para SBF1 e SBF2.....	72
Tabela 1 - Consumo aproximado de água em uma pequena propriedade rural	13
Tabela 2 - Tipos de células fotovoltaicas e sua eficiência.....	15
Tabela 3 - Componentes utilizados no experimento	34
Tabela 4 - Referencia de componentes do sistema de bombeamento solar.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre energia e água	7
Figura 2- Trajetória elíptica de translação da Terra ao redor do Sol.....	9
Figura 3- Potencial anual médio de energia solar	10
Figura 4- Insolação média anual diária (em horas) no território brasileiro.....	11
Figura 5- Importância relativa da água de chuva e da irrigação para a agricultura em diferentes regiões no mundo.....	12
Figura 6- Composição de módulos fotovoltaicos.....	14
Figura 7- Curva característica do módulo fotovoltaico.....	16
Figura 8 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico.....	18
Figura 9 - Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.....	19
Figura 11- Sistema conectado à rede.....	20
Figura 10- Exemplo de sistema híbrido.....	20
Figura 12 - Diagrama de blocos dos tipos de bombas hidráulicas	23
Figura 13- Componentes básicos da bomba de diafragma.....	24
Figura 14 - Bomba vibratória e Driver.....	25
Figura 16 - Exemplo de uma bomba pistão.....	26
Figura 15 - Exemplo de uma bomba centrífuga.....	26
Figura 17 - Configurações mais usuais para um sistema de bombeamento solar (adaptado).....	29
Figura 18 - Localização do Sítio Modelo e central de MGD-PV.....	33
Figura 19-Sensor de irradiação PVS1 fixado no suporte do painel.....	36
Figura 21 - Equipamentos Instalados	37
Figura 20- Suporte já instalado e a casa de equipamentos	37
Figura 22 - Detalhe do equipamento VMU-M com as expansões	38
Figura 23- equipamento Arduino com o modulo de transmissão de dados e antena.....	38
Figura 24 - Diagrama de blocos do sistema fotovoltaico de bombeamento.....	39
Figura 25 - Ligação elétrica moto bomba SBF2.....	40
Figura 26 - Ligação elétrica moto bomba SBF1	41
Figura 27 - Composição dos sistemas e a altura do desnível geográfico.....	42
Figura 28 - Configuração do sistema SBF1.....	43
Figura 29 - Configuração do sistema SBF2.....	43
Figura 30- Representação do esquema de variação da altura manométrica.....	44
Figura 31- Arranjo para leitura e registro dos dados de vazão.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 32-Vazão SBF1 e irradiância (W.m ⁻²) para 2,5 mca.....	52
Figura 33- Vazão SBF2 e irradiância (W.m ⁻²) para 2,5 mca.....	52
Figura 34- Vazão SBF1 e irradiância (W.m ⁻²) para 7,5 mca.....	53
Figura 35- Vazão SBF2 e irradiância (W.m ⁻²) para 7,5 mca.....	53
Figura 36- Vazão SBF1 e irradiância (W.m ⁻²) para 13,5 mca.....	54
Figura 37- Vazão SBF2 e irradiância (W.m ⁻²) para 13,5 mca.....	54
Figura 38-Vazão SBF1 e SBF2 x potência consumida (PC) no período 8 a 12 de Junho 2014. .	55
Figura 39-Vazão SBF1 e SBF2 x potência consumida (PC) no dia 8 de Junho 2014.	56
Figura 40-Vazão SBF1 e SBF2 x Irradiância no dia 8 de Junho 2014.....	56
Figura 41- Volume x Energia disponível diária a pressão de 2,5 mca	57
Figura 42-Vazão SBF1 x Potencia Consumida (PC) no período de 19 a 23 de Junho de 2014... 58	58
Figura 43- Vazão SBF1 e SBF2 x potência consumida (PC) no dia 21 de Junho de 2014.....	58
Figura 44- Vazão SBF1 e SBF2 x Irradiância disponível no dia 21 de Junho 2014.	59
Figura 45- Vazão SBF1 e SBF2 x irradiância disponível no dia 19 de Junho 2014.	59
Figura 46-Volume x Energia disponível diária a pressão de 7,5 mca	60
Figura 47- Vazão SBF1 e SBF2 x potência consumida (PC) no período 13 a 17 de Junho 2014.61	61
Figura 48- Vazão SBF1 e SBF2 x potência consumida (PC) no dia 14 de Junho 2014.	62
Figura 49- Vazão SBF1 e SBF2 x irradiância disponível no dia 14 de Junho 2014.	62
Figura 50- Volume x Energia disponível diária a pressão de 13,5 mca.	63
Figura 51-Potência disponível e potência consumida SBF1 e SBF2 ao longo do período em 2,5 mca.....	64
Figura 52- Potência disponível e potência consumida SBF1 e SBF2 ao longo do período em 7,5 mca.....	65
Figura 53-Potência disponível e potência consumida SBF1 e SBF2 ao longo do período em 13,5 mca.....	65
Figura 54-Potência disponível x potência consumida SBF1 em 2,5 mca.	66
Figura 55- Potência disponível x potência consumida SBF2 em 2,5 mca.	67
Figura 56- Potência disponível x potência consumida SBF1 em 7,5 mca.	67
Figura 57- Potência disponível x potência consumida SBF2 em 7,5 mca.	68
Figura 58-Energia Potência disponível x potência consumida SBF1 em 13,5 mca.	68
Figura 59-Energia disponível x energia consumida SBF2 em 13,5 mca.....	69

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a.C.-	Antes de Cristo
h-	Hora
l-	Litro
m-	Metro
mca-	Metro de coluna d'água
min-	Minuto
A-	Ampere
CA-	Corrente Alternada
CC-	Corrente Continua
Ghz-	Giga Hertz
Hg-	Altura Geométrica
Hm-	Altura Manométrica
Hmax-	Desnível Geográfico Maximo
Hp-	Comprimentos Equivalentes de Linha
I-	Intensidade (Corrente elétrica)
Ib-	Índice de Bombeamento
Ic-	Índice de Consumo
IMP-	Corrente Máxima de Pico
ISC-	Corrente
Kwh-	Kilo Watt hora
MGD-	Micro Geração Distribuída Fotovoltaica
FV-	
Mhz-	Mega Hertz
mV-	Micro Volts
Pmax-	Potencia máxima
Pvs-1-	Photovoltaic Solar Sensor -1
RAM-	Random Access Memory
SMA-	Subminiature Version A
SBF-	Sistema de Bombeamento Fotovoltaico
USB-	Universal Serial Bus
V-	Volts (Tensão Elétrica)
VMP-	Tensão Máxima de Pico
VMU-M-	Variables Measuring Unit – String
VMU-S-	Variables Measuring Unit - Management
VOC-	Tensão de Circuito Aberto
W-	Watt (Potencia Elétrica)

RESUMO

Para avaliar o desempenho de motobombas alimentadas por uma central de microgeração fotovoltaica (MGD-FV), foi necessária a montagem de um sistema de monitoramento e coletas de dados da produção e consumo de energia, dados estes, necessários para que se determinassem índices específicos da capacidade de bombeamento de duas bombas hidráulicas distintas, instaladas no Sítio Modelo da Fazenda Lageado, elevando água de uma cisterna para um reservatório. O desempenho de cada bomba foi avaliado em função de suas características elétricas e hidráulicas e sua interação com a irradiância solar disponível para seu acionamento. Cada sistema trabalhou em três pressões manométricas de recalque durante o período de 5 dias. O volume de água bombeado pelos dois sistemas propostos variou entre 5244 a 9398 litros/dia, para o sistema de bombeamento fotovoltaico - SBF2 e de 6249 a 7792 litros/dia, para o sistema de bombeamento fotovoltaico - SBF1, sendo que ambos bombearam água suficiente para atender as necessidades básicas de uma pequena propriedade rural. O desempenho prático de cada sistema foi verificado em função do (IB) índice de bombeamento, em l/kWh e do (IC) índice de consumo, em kWh/l, baseado nesses índices pode-se notar que nas condições desse experimento a bomba do SBF2 é mais indicada para valores de altura manométrica entre 2,5 e 7,5 mca em regiões com baixo índice de irradiação ou estações do

ano que apresentam energia disponível reduzida no período, pois tem maior volume bombeado quando submetida a essas condições de trabalho. A bomba SBF1 é mais indicada para valores de altura manométrica entre 7,5 e 13,5 mca em regiões com alto índice de irradiação

Palavras-chave: Bombeamento solar, Energia solar, Geração de energia fotovoltaica, Bombas hidráulicas.

DRIVE TWO PUMPING SYSTEMS POWERED BY A CENTRAL MICROGENERATION PHOTOVOLTAIC

Botucatu, 2014. 92p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) -
Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: TIAGO APARECIDO VICENTIN

Adviser: ODIVALDO JOSE SERAPHIM

SUMMARY

To evaluate the performance of pumps powered by a photovoltaic microgeneration (MGD-FV), it was necessary to mount a system of monitoring and data collection of production and consumption of energy, these data needed for specific indices that would determine the pumping capacity of two separate hydraulic pumps, installed in the Site Model Farm Lageado, bringing water from a tanker to a storage tank. The performance of each pump was assessed in terms of their electrical and hydraulic characteristics and their interaction with the solar irradiance available for your drive. Each system worked into three booster gauge pressures during 5 days. The volume of water pumped by the two proposed systems ranged between 5244-9398 liters / day for the PV pumping system - SBF2 and 6249-7792 liters / day for the PV pumping system - SBF1, both of which have pumped enough water to meet the basic needs of a small farm. The practical performance of each system was checked as a function of (IB) pumping rate in l / kWh and (IC) rate of consumption in kWh / l, based on these indices may be noted that under the conditions of this experiment the pump SBF2 is the most suitable for gauge height values between 2.5 and 7.5 mca in regions with low levels of irradiation or the seasons which have reduced energy available in the period, it has greater volume pumped when subjected to these working conditions. The SBF1 pump is most suitable for gauge height values between 7.5 and 13.5 mca in regions with high irradiation.

Keywords: Solar pump, Photovoltaic solar energy, Photovoltaic power generation, Hydraulic pumps

1 INTRODUÇÃO

Produzir alimentos, prover energia e saneamento são fatores fortemente dependentes da disponibilidade da água no meio. Gerir o uso da água de forma eficiente e sustentável é um desafio, pois dependem de questões como desigualdade na distribuição, rápida urbanização, poluição, mudanças climáticas, aumento da demanda mundial e interesses conflitantes que tornam preocupante a questão da água. O acesso à água potável tem impacto fundamental para o desenvolvimento socioeconômico sendo um direito humano essencial, intrinsecamente relacionado à vida, à saúde e à alimentação que contribui para a realização de todos os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio que são metas de melhoria de níveis socioeconômicos que a ONU estabeleceu em 2000 para serem cumpridas até 2015. A agricultura utiliza hoje 70% da água doce do mundo. Para 2050 prevê-se um aumento de mais 70% da produção agrícola e 19% de seu consumo mundial de água, número que pode variar de acordo com os progressos tecnológicos e decisões políticas adequadas. (ONU, 2013)

Intrinsecamente conectado à questão da água está a da energia elétrica, pois sem esta não se consegue trabalhar a água com eficiência o que torna desgastante e arriscado o trabalho no campo levando a perdas de produtividade e em alguns casos grandes prejuízos para o agricultor. Visando a melhora da qualidade de vida do homem do campo é necessária a instalação de dispositivos usados em regiões mais desenvolvidas, tais como bombas de água, reservatórios ou cisternas, chuveiros, sistemas de irrigação e pontos adequados para consumo que se tornam possíveis com a disponibilidade de energia elétrica na propriedade rural. Fedrizzi (2003) em seu trabalho com sistemas fotovoltaicos de

abastecimento de água para uso comunitário, afirma que grande parte da população afetada pela falta d'água não dispõe de energia elétrica para captação e transporte da água potável; soluções como as linhas de transmissão são caras e vulneráveis; propriedades rurais que apresentam baixa demanda de consumo, e encontram-se distantes das redes de distribuição ainda não conseguem justificar o investimento necessário para disponibilizar a energia elétrica de forma convencional. Tendo em vista o exposto, há necessidade de pesquisar novas soluções tecnológicas que possam gerar energia elétrica em lugares distantes e remotos com o objetivo de suprir essa demanda. A energia elétrica gerada por painéis fotovoltaicos é uma solução tecnológica que pode ser aplicada nesse contexto.

Atualmente a tecnologia dos painéis fotovoltaicos é utilizada em estações espaciais, satélites de telecomunicação, estações meteorológicas, faróis de sinalização, eletrificação rural etc. Porém, o rendimento de um painel fotovoltaico é baixo, sendo necessário um estudo dirigido para a avaliação de qualquer sistema que utilize painéis fotovoltaicos em sua composição. Para a avaliação de Sistemas de bombeamento que utilizam da tecnologia solar fotovoltaica como fonte de energia é necessário conhecer o potencial solarimétrico da região, os equipamentos que serão alimentados e características físicas da instalação, tal como, vazão e pressão manométrica da linha de consumo.

Dada à importância, necessidade e complexidade de se manter e disponibilizar energia e água dentro de propriedades rurais ou localidades que não tem disponibilidade de energia elétrica convencional, este trabalho tem como objetivo geral avaliar e caracterizar dois sistemas de bombeamento hidráulico acionados com energia solar fotovoltaica elevando água de uma cisterna para um reservatório elevado trabalhando em três pressões manométricas distintas.

Objetivos específicos consistem em: Monitorar a irradiação solar sobre a central de micro geração fotovoltaica e comparar com as vazões fornecidas pelos conjuntos motobomba; determinar índices que possam indicar qual sistema tem o melhor desempenho hidroenergético nas condições desse experimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Eficiência energética

Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento. Tendo como pressupostos básicos, a manutenção das condições de conforto, de segurança e de produtividade dos usuários, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços geração, transmissão, distribuição e uso final de energia para a mitigação dos impactos ambientais.

A conservação de energia tem como objetivo principal alcançar a máxima eficiência energética, inibindo seus desperdícios e permitindo assim o melhor aproveitamento do recurso (BRASIL, 2013).

2.2 Relação entre água e energia

A disponibilidade de recursos hídricos e energéticos é uma condição imprescindível para proporcionar o desenvolvimento econômico sustentável desejado pelos países. Estes recursos podem ser renováveis ou não, sendo que os últimos podem apresentar oferta marginal cada vez mais limitada. Apesar de ser reconhecida a importância da disponibilidade dos recursos energéticos e hídricos para o desenvolvimento sustentável, o fato ainda não é muito compreendido (RODRIGUES, 2012).

A deterioração da qualidade, diminuição da quantidade e da acessibilidade dos recursos hídricos reduzem as possibilidades para um suprimento energético seguro, assim como podem alterar sua sustentabilidade. Para Rio Carrillo e Frei (2009) “a segurança dos recursos hídricos é um aspecto adicional que deve ser considerados no planejamento dos futuros *sistemas energéticos*”.

Hoekstra e Hung (2011) desenvolveram o conceito de "pegada hídrica" (ou "water footprint"). Este conceito é definido como o volume de água doce necessária para a produção de bens e serviços, relacionados com padrões de consumo do local onde foi produzido. UNESCO (2011) estendeu este conceito de forma análoga para "pegada energética", que poderia ser entendido como a quantidade de energia necessária para a produção de bens e serviços. Na

Figura 1 estão destacados alguns aspectos da relação energia-água.

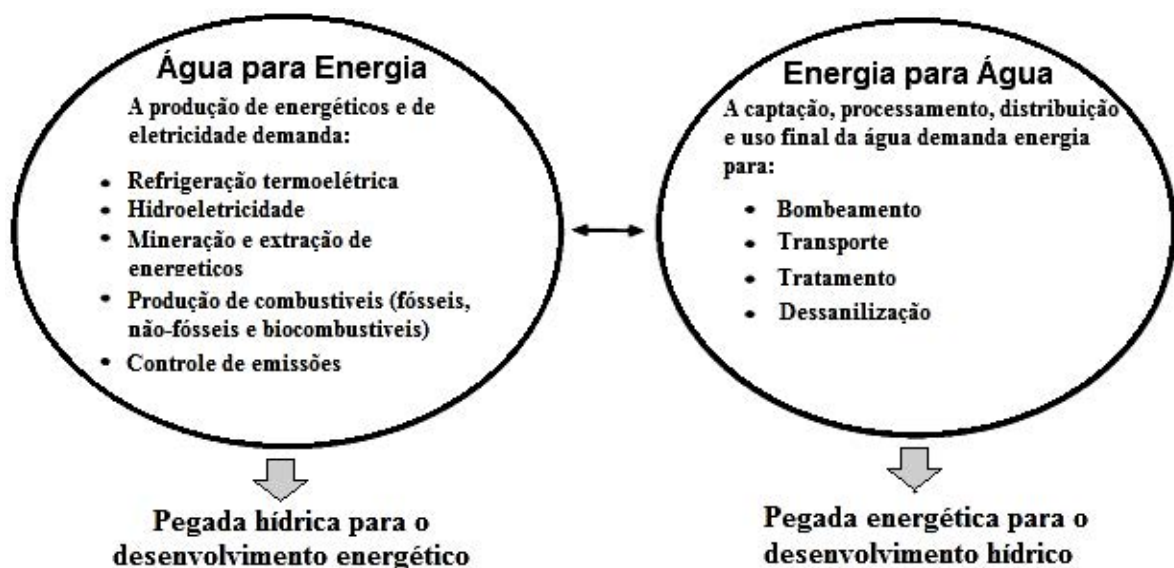


Figura 1 - Relação entre energia e água
Fonte: UNESCO, 2011.

A oferta de recursos energéticos e hídricos é induzida por vários fatores comuns, dentre os quais podem ser citados: mudanças nas estruturas demográficas, econômicas, sociais e tecnológicas incluindo variações nos aspectos de consumo. Segundo Rio Carrillo e Frei (2009) "futuras análises sobre a possibilidade dos recursos hídricos de uma região poder sustentar processos de produção de energia, serão fatores críticos em um futuro próximo. Existe uma necessidade de integração dos planejamentos dos recursos energéticos e hídricos. À medida que aumentam as restrições de água doce, limita-se a oferta de eletricidade e outros energéticos no futuro, sendo que a eficiência no uso da água deve ser considerada no planejamento energético".

O secretário geral da Organização das Nações Unidas (ONU) Ban Ki-moon ressaltou, em relatório elaborado por esta organização denominado "*Water in a changing world*" (UNESCO, 2011),

“Existe uma falha ao redor do mundo em reconhecer o papel fundamental da água em prover alimentos, energia, saneamento, alívio de desastres, sustentabilidade ambiental e outros benefícios. Este fato tem deixado centenas de milhões de pessoas na pobreza e com problemas de saúde, expostas aos riscos de doenças relacionadas com a água. (...) Os governos e a comunidade internacional devem realizar imediatamente investimentos para o desenvolvimento na infraestrutura relacionada à gestão da água” (adaptado, RODRIGUES, 2012).

2.3 Energia Solar

A energia solar é um termo que se refere à energia proveniente da luz e do calor do Sol. É utilizada por meio de diferentes tecnologias em constante evolução, como o aquecimento solar, energia solar fotovoltaica, energia heliotérmica, fotossíntese artificial, entre outras.

Se fosse possível converter uma pequena fração do total da energia solar diária incidente sobre o planeta, diretamente em energia elétrica, os problemas energéticos poderiam ser em grande parte resolvidos ou amenizados. Sabe-se que em uma hora o sol irradia sobre o planeta uma quantidade de energia superior ao consumo global de um ano inteiro. Energia gratuita, renovável e não poluente (DEMONT, 1998).

Dada a sua natureza não poluente e sua permanente disponibilidade, a radiação solar é de fato uma opção promissora para geração de energia. No entanto, sua baixa disponibilidade de fluxo e sua variação temporal (ciclo diurno e noturno) fazem com que seu aproveitamento seja difícil (FERREIRA, 1993).

A energia solar total incidente sobre a superfície terrestre depende da latitude, da hora do dia e dia do ano, devido à inclinação do eixo de rotação da Terra e à trajetória elíptica de translação da Terra ao redor do Sol, como pode ser visto na Figura 2. Para a maximização do aproveitamento da energia solar, pode-se ajustar a posição do coletor solar com inclinação necessária para melhor captação da radiação solar no inverno. O aproveitamento racional desta energia para o projeto de instalações bem dimensionadas e economicamente viáveis só é possível a partir de informações solarimétricas consistentes da região na qual o sistema solar vai ser implantado.



Figura 2- Trajetória elíptica de translação da Terra ao redor do Sol

Fonte: MAGNOLI, D.; SCALZARETTO, R. Geografia, espaço, cultura e cidadania. São Paulo: Moderna, 1998. v. 1. (adaptado)

Segundo Silva e Seraphim (2005), nos países em desenvolvimento, como o Brasil, essa fonte de energia deve ser aproveitada ao máximo. Normalmente esses países apresentam elevadas extensões territoriais e estão localizados em zonas tropicais,

ou seja, dispõe de alta incidência de radiação solar, tornando viável o desenvolvimento de tecnologias capazes de transformar a energia solar em energia elétrica, térmica, química, mecânica, entre outras.

O índice de radiação solar do Brasil é um dos mais altos do mundo. Grande parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima a linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações de radiação solar durante o dia. A região nordeste do Brasil, por estar ainda mais próxima do que as demais regiões, é a que possui maior área de radiação solar e também aonde ela é mais eficaz, variando entre 5.700 e 6.100 Wh.m² dia (CRECESB, 2014)

A Figura 3 extraída da última versão do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), representa o potencial anual médio de energia solar para o período de 10 anos. Os dados apresentados são uma estimativa da radiação solar incidente no país, resultante da interpolação e extrapolação de dados obtidos em estações solarimétricas distribuídas pelo Brasil e por estimativas da radiação solar feita a partir da análise de imagens de satélites.

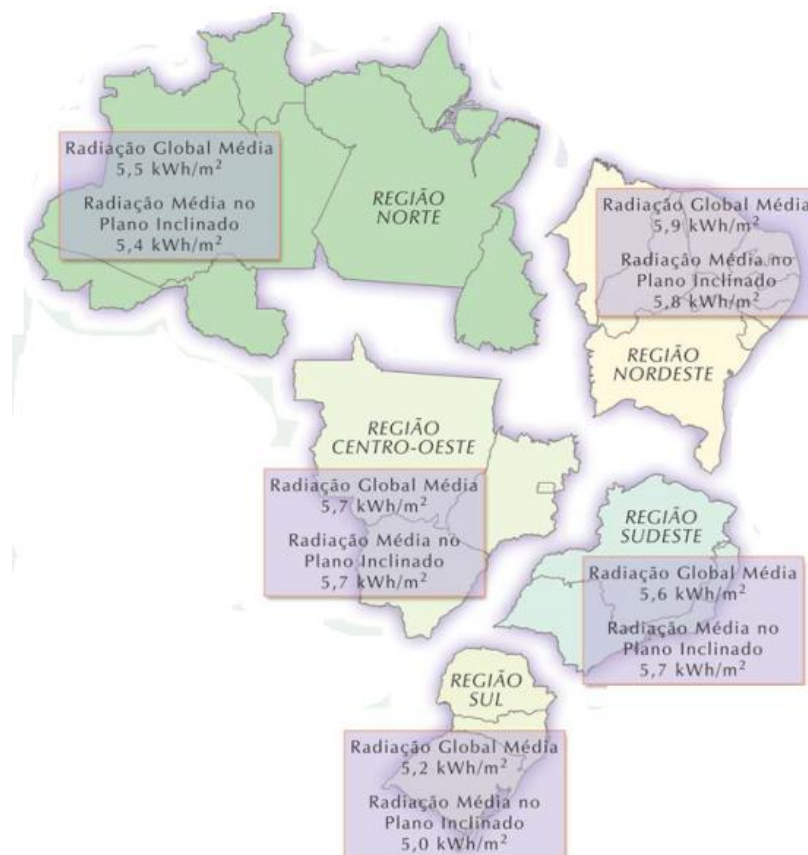


Figura 3- Potencial anual médio de energia solar
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006

A região Nordeste apresenta a maior disponibilidade energética, seguida pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste. As características climáticas da região Norte reduzem seu potencial solar médio a valores próximos da região Sul.

Segundo Martins (2003), “o mapeamento da distribuição do recurso solar permite reconhecer áreas em que o aproveitamento dessa energia é potencialmente significativo”. O Atlas Solarimétrico do Brasil contém tabelas e mapas, como ilustrado na

Figura 4, “com informações sobre a radiação solar global diária (quantidade de energia solar aproveitável por metro quadrado, em um dia em determinado local), insolação diária (número de horas de brilho do Sol em um dia em determinado local) e médias mensais e anuais de 511 localidades do Brasil e 67 de países limítrofes”.

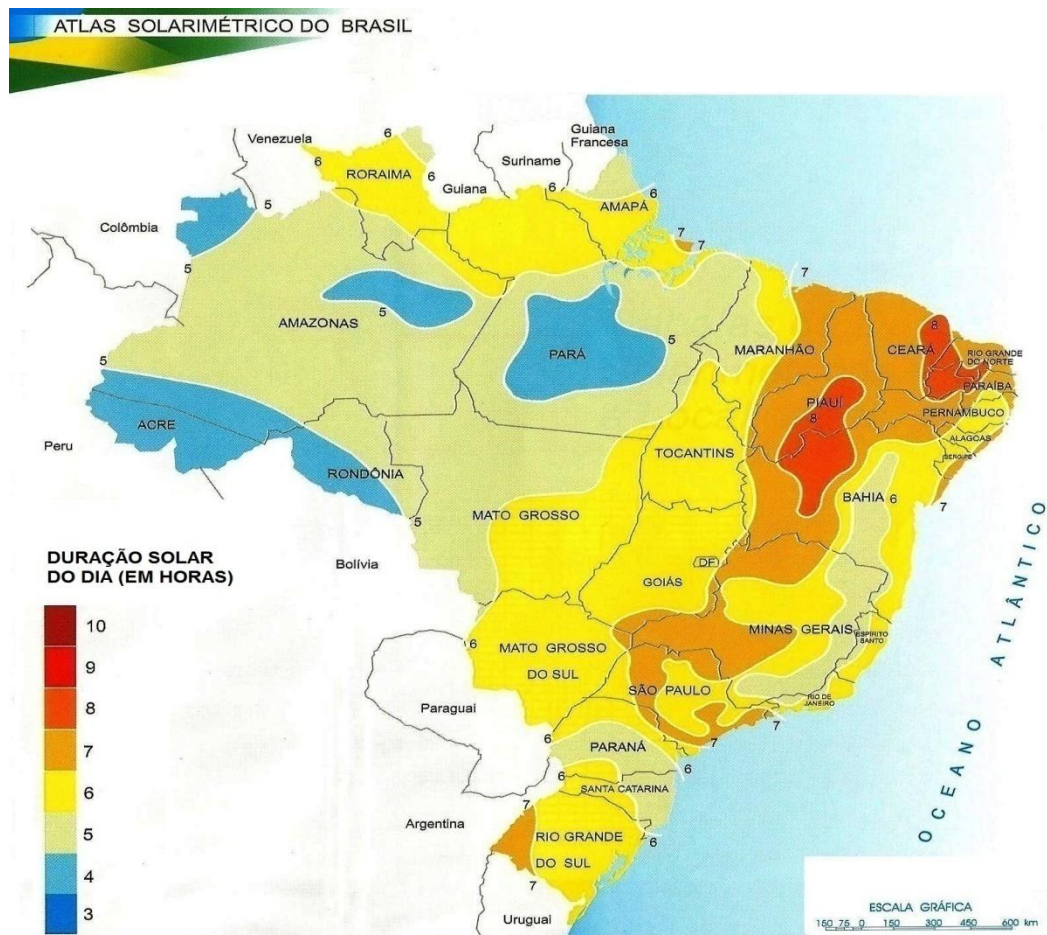


Figura 4- Insolação média anual diária (em horas) no território brasileiro.
Fonte: (TIBA, 2000)

2.4 Demanda de energia para o suprimento de água na agricultura

O uso agrícola pode ser energointensivo requerendo bombeamento significativo e, em alguns casos, tratamento de água utilizada. Entretanto, pode não demandar energia e usar apenas a gravidade para a distribuição de água bruta superficial em direção às culturas. A energia (eletricidade e outros combustíveis) é necessária também no setor agrícola para aquecimento de água, transporte de águas residuais para lagoas de disposição e aeradores, ventiladores para climatização e processamento de alimentos (lavagem, empacotamento e refrigeração) (RODRIGUES,2012).

A importância da irrigação na agricultura varia de acordo com as características climáticas das regiões. A Figura 5 apresenta a importância relativa da irrigação e das águas de chuva na agricultura em diferentes partes do mundo.

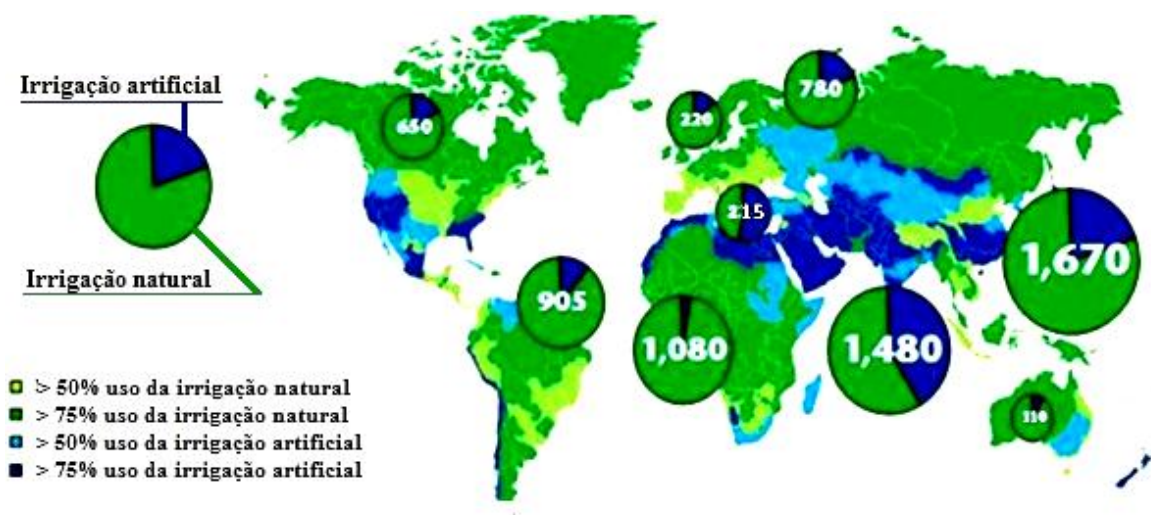


Figura 5- Importância relativa da água de chuva e da irrigação para a agricultura em diferentes regiões no mundo

Fonte: UNESCO, 2011.

Existem poucas estimativas do gasto energético na agricultura. No estado da Califórnia (EUA), a cada ano o setor agrícola consome aproximadamente, 41,9 bilhões de metros cúbicos de água para o crescimento de culturas, o que requer mais de 10 TWh de eletricidade para bombear e mover esta água. Neste Estado, mais de 75% da produção agrícola depende de sistemas de irrigação como pode ser visualizado na Figura 5. A energia é utilizada em projetos estaduais e federais que disponibilizam a água em locais distantes de onde é captada (CEC, 2011).

O consumo energético na Califórnia pode variar de acordo com diferentes cenários anuais de água. Por exemplo, durante anos com precipitação maior que a média anual, ocorre maior disponibilidade de água superficial, logo, diminui a demanda de energia para bombear água subterrânea. Durante longos períodos de seca, aumenta a demanda de energia devido à necessidade de bombeamento. Em termos gerais, 90% da eletricidade consumida no setor agrícola destinam-se ao uso da água. Além disso, bombas movidas a diesel ou gás natural também são utilizados para bombear água no setor agrícola (CEC, 2011)

É importante considerar que a água pode funcionar como uma grande força de fixação do homem no campo. Dispor de água potável para uso doméstico, de seus animais e de sua plantação é um forte reforço de cidadania. Conforme Tiago Filho (2002), o consumo aproximado de água em uma pequena propriedade rural pode ser dimensionado com os dados da Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo aproximado de água em uma pequena propriedade rural

Especificação	Litros por dia
Sede da propriedade – por pessoa	70 a 100
Aves - por cabeça	0,2 a 0,3
Suínos + higiene - por cabeça	12 a 15
Bovinos - por cabeça	30 a 35
Equinos - por cabeça	35 a 50
Horta e jardim - por m ²	3 a 5

Considerando uma pequena propriedade rural típica onde vivem 6 pessoas que cuidam de 30 aves, 5 bovinos, 10 suínos e ainda tem uma área cultivada de 100 m², utilizando valores médios de consumo da tabela, pode-se estimar um consumo médio diário aproximado de 1.200 litros de água. Entretanto, para quebrar a paradoxal situação comumente encontrada de não dispor dessa água, mas estar ao mesmo tempo morando sobre lençóis subterrâneos é fundamental a utilização de um sistema de bombeamento de água.

Uma das formas de garantir o suprimento de energia elétrica nessas propriedades ou comunidades rurais isoladas seria a implantação de sistemas energéticos que tivessem como base fontes alternativas e renováveis de energia. Energias alternativas e renováveis podem ser entendidas como aquelas geradas por fontes cuja reposição é feita pela natureza de modo mais rápido que seu consumo pelo homem. São exemplos mais comuns: a hidráulica, a eólica, a solar e a de biomassa, que são também energias ditas “limpas”, por causarem menor impacto ambiental. A energia solar fotovoltaica surge como a fonte viável para mover o motor que acionará a bomba hidráulica. “Apesar de ser uma tecnologia relativamente nova, foi graças a projetos de grande envergadura, na maioria das vezes implantados em zonas rurais de países em desenvolvimento, com o suporte dos países produtores dos equipamentos, que os ganhos tecnológicos foram alcançados, em função da necessidade de adaptação às condições de campo” (FEDRIZZI, 2003).

2.5 Sistemas fotovoltaicos

Segundo Van Pelt et al. (2012), a célula fotovoltaica é responsável por converter a energia solar radiante incidente em energia elétrica utilizável em CC. Um módulo é composto de células fotovoltaicas conectadas eletricamente entre si e uma matriz ou painel solar é composta por vários módulos que por fim são conectados a uma carga. As células fotovoltaicas são feitas principalmente de silício e vêm em três tipos diferentes: monocristalino, policristalino e amorfos. A Figura 6 mostra os três tipos de configurações de células fotovoltaicas.

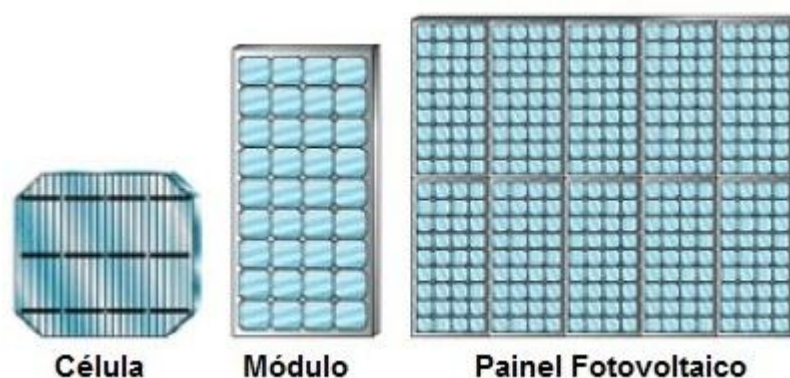


Figura 6- Composição de módulos fotovoltaicos

Fonte: Adaptado de *New York State Energy Research e Development Authority, 2007*”.

A eficiência do módulo fotovoltaico relaciona-se com a área de células ativas expostas à luz solar. Os módulos monocristalino são os mais eficientes, convertendo em torno de 15 por cento da energia radiante em eletricidade, mas é também o mais caro dos três. Os módulos fotovoltaicos têm garantias típicas de 20 a 25 anos, com expectativa de vida próxima dos 30 anos. A Tabela 2 Comparam as diferenças entre os três tipos principais de células fotovoltaicas.

Tabela 2 - Tipos de células fotovoltaicas e sua eficiência.

Tipo de Célula	Faixa de eficiência	Considerações
Monocristalino	14 to 16%	Maior custo, afetado pela temperatura.
Policristalino	12 to 14%	Médio Custo, afetado pela temperatura.
Amorfo	8 to 9%	De médio a baixo Custo e não é afetado pela temperatura

Fonte: Adaptado de *Source: Research Institute for Sustainable Energy, Murdoch, Western Australia, 2007*

2.6 Características elétricas dos módulos fotovoltaicos

Uma única célula fotovoltaica, isoladamente, tem capacidade reduzida de produção de energia elétrica, tipicamente entre 1 a 2 W, correspondente a uma tensão de 0.5 V e uma corrente de entre 2 a 4 A. Portanto, para atingir determinados níveis de tensão e corrente, faz-se necessária a associação de várias células, através de ligações série e paralelo, formando os módulos fotovoltaicos (SEGUEL, 2009).

O número de células em um módulo é determinado pelas necessidades de tensão e corrente da carga a alimentar. Normalmente um módulo fotovoltaico é constituído de 33 a 36 células ligadas em série, resultando em tensão aproximadamente de 18 V. Entretanto esta tensão não é fixa. Depende da corrente elétrica que está sendo solicitada ao módulo. Quando o módulo está fornecendo a corrente para uma bateria ou para uma carga qualquer, as tensões e as correntes variam segundo curvas específicas denominadas curvas características I x V. Uma curva característica típica é mostrada na Figura 7.

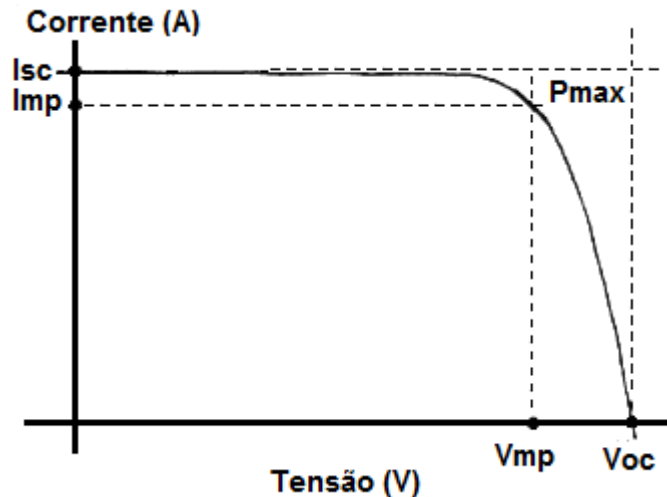


Figura 7- Curva característica do módulo fotovoltaico.

Geralmente, a potência dos módulos é dada pela potência de pico. Tão necessário quanto este parâmetro, existem outras características elétricas que melhor caracterizam a funcionalidade do módulo. Abaixo seguem listadas as principais características elétricas dos módulos fotovoltaicos.

Corrente de curto-circuito - I_{sc} - É a máxima corrente que o módulo pode produzir sob determinadas condições de insolação e temperatura, quando seus terminais são curto-circuitados. Como não há tensão, a potência elétrica é zero.

Tensão de circuito aberto - V_{oc} - É a máxima tensão que o módulo pode produzir sob determinadas condições de insolação e temperatura e acontece quando seus terminais estão abertos. Como não há corrente elétrica, a potência elétrica fornecida pelo módulo é zero.

Corrente de potência máxima - I_{mp} - É a corrente elétrica que o módulo fornece no ponto de potência máxima sob determinadas condições de insolação e temperatura. É considerada a corrente nominal do módulo fotovoltaico.

Tensão de potência máxima - V_{mp} - É a tensão elétrica que o módulo fornece no ponto de potência máxima, sob determinadas condições de insolação e temperatura.

Potência máxima - P_{max} - É a potência elétrica máxima que o módulo pode fornecer sob determinadas condições de insolação e temperatura. Corresponde ao produto da corrente de potência máxima, pela tensão de potência máxima. Este ponto ocorre no joelho da curva característica.

Analisando-se a curva característica da Figura 7, pode-se observar que, sob determinadas condições de insolação e temperatura, quando a corrente elétrica produzida pelo módulo aumenta, a tensão diminui. No extremo, quando ocorre um curto circuito, a tensão cai para zero. Isso faz com que o módulo seja autoprotégido contra curtos-circuitos. Por outro lado, quando a corrente diminui, a tensão aumenta. Pode-se observar também que, na maior parte da curva, a corrente fornecida pelo módulo diminui muito lentamente com o aumento da tensão sendo praticamente constante nesta faixa, mas diminui rapidamente quando a tensão ultrapassa determinado limiar. O ponto da curva em que o sistema funciona depende da carga. O ideal é que o sistema funcione o mais próximo possível do ponto de potência máxima para que haja um maior aproveitamento da energia solar (SOLENERG, 2012).

2.6.1 Eficiência do módulo fotovoltaico

A eficiência é uma das maneiras de se avaliar a qualidade de um módulo fotovoltaico. Mas, é preciso analisá-la dentro de um contexto global, considerando as outras variáveis envolvidas. Ela é definida pela relação entre a quantidade de energia elétrica que é produzida no ponto de máxima potência (W) e a quantidade de energia solar que chega ao módulo ($W.m^{-2}.m^2$).

$$P_{max} = I_{mp} \times V_{mp} \quad (2.1)$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{\text{Irradiância} \times \text{área}} \quad (2.2)$$

Onde:

I_{mp} – corrente máxima de pico, A.

V_{mp} – tensão máxima de pico, V.

P_{max}, W

Irradiância, $W.m^{-2}$

Área, m^2

η – Rendimento

Para se avaliar a eficiência do módulo, é importante não sejam considerados os pontos inertes, que não geram energia, tais como o espaço entre as células e o quadro. A eficiência calculada, dessa forma, é superior à que se obteria se fosse utilizada apenas a área geral das células (SOLENERG, 2012).

2.6.2 Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica, conforme mostra a Figura 8, onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento (CRECESB, 2012).

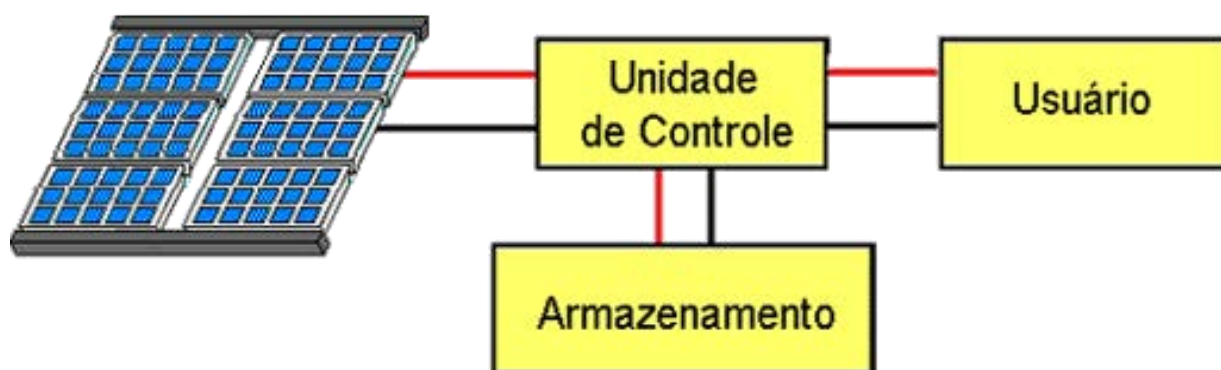


Figura 8 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico.

Fonte: CRESESB, 2012

2.6.3 Sistemas isolados

Os sistemas isolados fotovoltaicos atendem a uma determinada carga utilizando exclusivamente a energia solar fotovoltaica (COSTA, 2001), a Figura 9 apresenta um diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.

Sistemas isolados, em geral, utiliza-se alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos ou armazena-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, o que é o caso da irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocadas em reservatórios. Em sistemas que necessitam de armazenamento de energia em baterias, usa-se um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria. O "controlador de carga" tem como principal função não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC). Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência necessário para otimização da potência final produzida. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais (CRECESB, 2012).

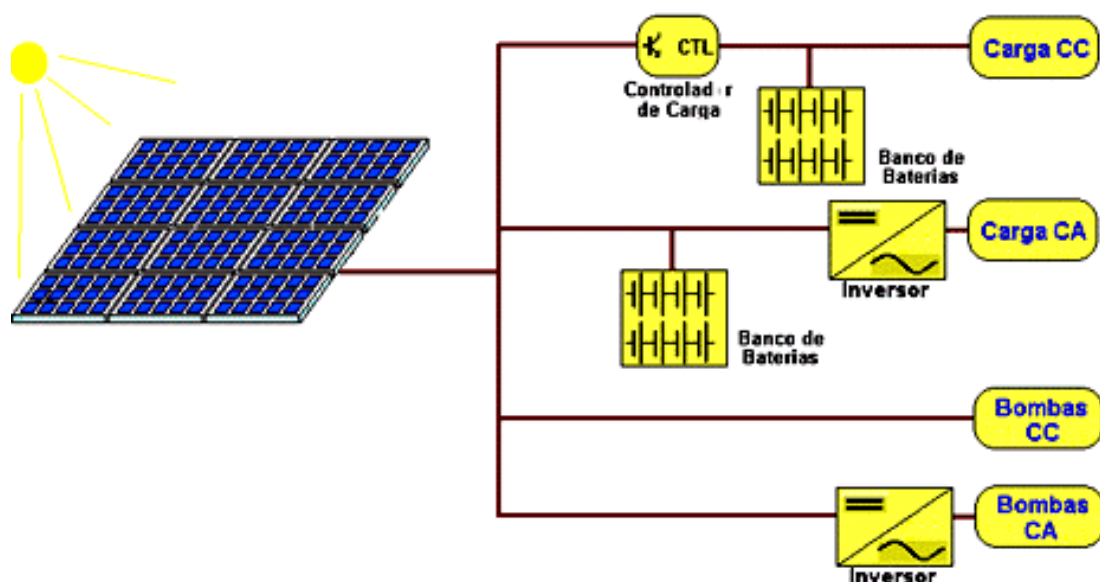


Figura 9 - Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.
Fonte: Crecesb, 2012

2.6.4 Sistemas híbridos

Sistemas híbridos conforme mostra a Figura 10, são aqueles que desconectados da rede convencional, apresenta várias fontes de geração de energia como, por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica torna-se complexo na necessidade de otimização do uso das energias. É necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário.



Figura 10- Exemplo de sistema híbrido
Fonte: Crecesb, 2012

2.6.5 Sistemas conectados a rede

A figura 11 apresenta um exemplo de sistema conectado a rede. Estes sistemas utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente na rede.

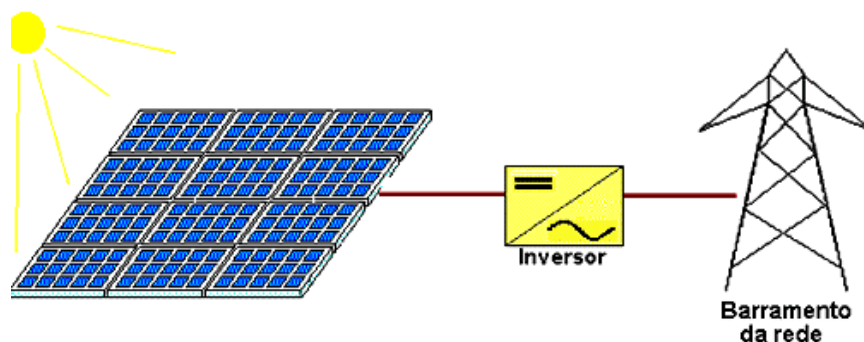


Figura 11- Sistema conectado à rede
Fonte: Crecesb, 2012

Sistemas *On-grid* ou conectados a rede representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual esta conectada. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida na rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada.

2.7 Recursos hídricos em áreas remotas

Caracterizada por períodos de secas recorrentes, a região Nordeste é considerada uma das mais vulneráveis em termos socioeconômico e ambiental do Brasil. Os relatórios mais atuais do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) apontam que as secas e enchentes na região estão propensas a intensificar-se, episódio que vem sendo registrado e tem chamado à atenção de pesquisadores e formuladores de políticas públicas. O governo brasileiro investe na região com objetivo de reduzir os efeitos e impactos da seca por meio da construção de açudes e da instalação cisternas abastecida por água pluvial. Essas ações ampliaram os recursos hídricos disponíveis, porém, o impacto na qualidade de vida das pessoas ficou aquém do esperado e do necessário. A base da economia na região permanece a agropecuária extensiva, distribuída em vastas propriedades de terra, principal causa do desmatamento, e a agricultura de subsistência, repartidas em sistemas produtivos ainda muito ineficientes. O bioma da região, a caatinga, vem sendo reduzido, tornando as consequências ambientais das secas ainda mais severas (SERTÃO, 2011).

A concatenação de recursos tecnológicos, humanos, financeiros e de políticas públicas com o propósito de incubar novas práticas de convivência com a seca e adaptação à mudança climática pode ser implementadas pelo uso de energias renováveis no que tange respeito ao bombeamento de água aproveitando melhor a infraestrutura hídrica já disponível em açudes, barreiros poços e cisternas. Neste contexto, o uso das energias renováveis pode contribuir como recurso tecnológico para garantir a segurança alimentar e a geração de renda baseada na pequena e média propriedade agrícola, produzindo sem destruir o ecossistema local (LOPES, 2011).

2.7.1 Tecnologias de Bombeamento

Embora a agricultura esteja em prática há mais de 10.000 anos, os primeiros registros que se tem de irrigação são devidos aos egípcios. Inicialmente transportavam a água em potes, mas cerca de 1.500 a.C. apareceu a primeira máquina de elevação de água, a picota, constituída por duas varas de madeira, um deles na posição vertical. A outra, perpendicular a primeira, possui numa extremidade um peso e no outro um recipiente para a água. Abaixando-se o recipiente ao poço, o peso na outra extremidade da vara ajuda a içar o recipiente com água. Posteriormente apareceu o sarilho usado para elevar um balde, máquina simples em que um cabo é tracionado por seu enrolamento em um cilindro, acionado por uma manivela de raio maior; em seguida veio a nora, engenho ou aparelho para tirar água de poços ou cisternas que é constituído por uma roda com pequenos reservatórios ou alcatruzes e por fim a roda persa. Todas estas máquinas eram movidas por trabalho humano ou animal. O sarilho é empregado ainda hoje no abastecimento de água. Um dos tipos mais antigos de bomba foi o Parafuso de Arquimedes, empregado por Senaquerib, Rei da Assíria, para a irrigação dos Jardins Suspensos da Babilônia e Nínive, no século VII a.C. e descritas depois em maior detalhe por Arquimedes no século III a.C .

As bombas alternativas a pistão ou êmbolo já eram do conhecimento dos gregos e dos romanos. Ctesibius, por volta de 250 a.C., criou uma bomba alternativa movida por uma roda d'água, montada por seu discípulo Hero de Alexandria. As bombas cinéticas, apesar de resultar de idéias muito antigas, passaram a ser construídas para uso real no início do século XIX. O inventor francês Denis Papin construiu uma "bomba de ar" no fim do século XVII, mas precisava de um acionador adequado. O aparelho foi denominado, *fole de Hesse*, uma homenagem ao patrono de Papin, o príncipe de Hesse (LOPES, 2011).

Os sistemas de bombeamento usam vários tipos de bomba e na irrigação são fundamentais para transportar a água da fonte até a plantação. Araújo (2003) conceitua as bombas-d'água como “máquinas operatrizes hidráulicas que transferem energia ao fluido com a finalidade de transportá-lo de um ponto ao outro. Recebem energia de uma fonte motora qualquer e cedem parte desta energia ao fluido, sob a forma de energia de pressão, cinéticas ou ambas”. Conforme Hamidat e Benyoucef (2007), “a bomba é a responsável pela conversão da energia mecânica em energia hidráulica”.

Um sistema fotovoltaico de bombeamento apresenta como características positivas: baixa necessidade de manutenção, possibilidade de operação

desassistida, durabilidade, confiabilidade e uso de energia não-poluente, sem custo e renovável. Custo inicial elevado e baixa produtividade nos dias nublados são fatores negativos do sistema.

As bombas possuem complexos mecanismos e são usadas nas mais diversas aplicações e por isso são produzidas em vários modelos e tamanhos. No entanto, o conjunto de todos os modelos é dividido e classificado em duas grandes categorias fundamentais, bombas volumétricas e hidrodinâmicas. Pode ser classificada ainda pela sua aplicação ou pelo modo como a energia é fornecida ao fluido. Normalmente, existe uma relação entre o emprego e a característica da bomba que, por sua vez, está fortemente relacionada ao modo como a energia é transferida ao fluido. A forma pela qual é efetuada a transformação do trabalho em energia hidráulica e o recurso para cedê-la ao líquido ampliando a pressão e/ou a velocidade permite que elas se classifiquem em bombas volumétricas e hidrodinâmicas (LOPES, 2011). Dentre as classificações de bombas de deslocamento positivo e de turbobombas se pode enumerar algumas das mais importantes subdivisões destas bombas, como mostra o diagrama de blocos da Figura 12.

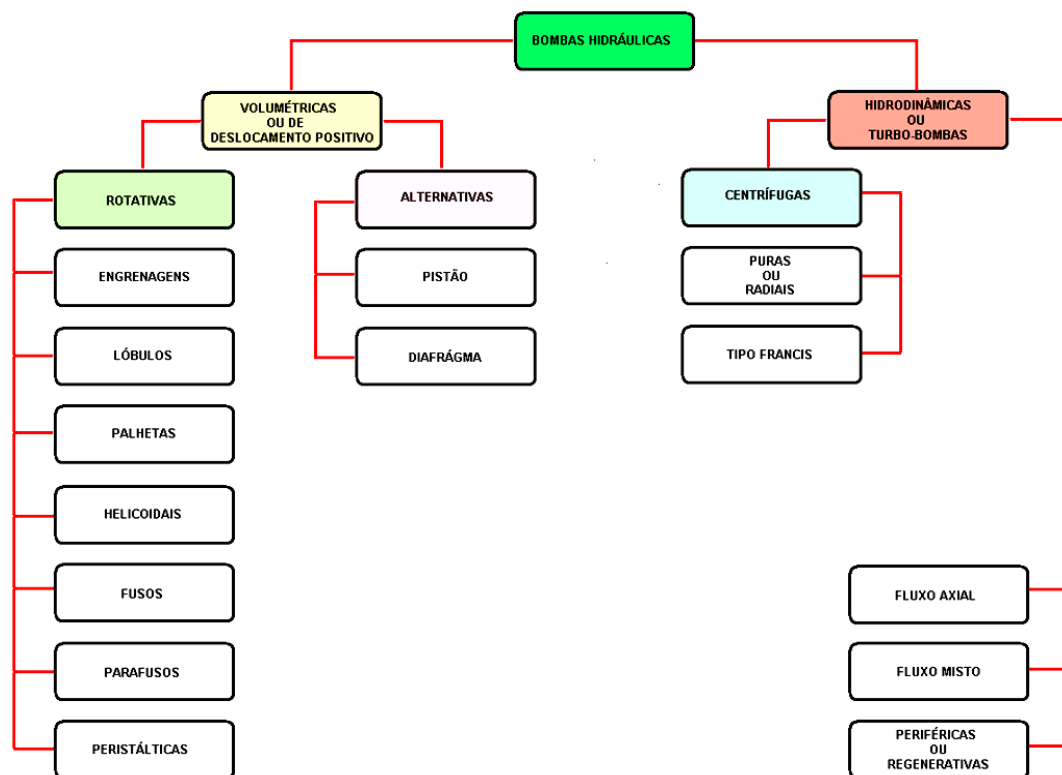


Figura 12 - Diagrama de blocos dos tipos de bombas hidráulicas
Fonte: Lopes,2011.

Os tipos de bomba mais comumente utilizados são: de diafragma, centrífuga e pistão. O esquema básico da bomba de diafragma é apresentado na Figura 13. A bomba é dividida em dois módulos, sendo um deles a parte molhada (*manifolds* e câmara de bombeamento) e a outra parte seca ou bloco central (área de atuação do fluido ou pistão). Estes conjuntos são separados pelo diafragma, que isolam o líquido bombeado do fluido do bloco central.

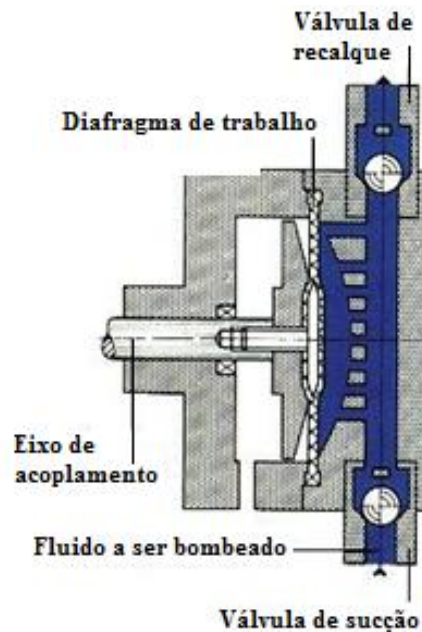


Figura 13- Componentes básicos da bomba de diafragma
Fonte: Bombas indesur, 2014.

Quando o volume da câmara de bombeamento está aumentado (o diafragma que move para cima), a pressão diminui, e o líquido é extraído na câmara pela válvula de sucção. Quando a pressão da câmara aumentar mais tarde, diminuindo o volume (o diafragma que abaixa), o líquido extraído previamente dentro está forçado para fora, através da válvula de recalque. Com o ciclo do diafragma ocorre o bombeamento pulsante do fluido. Essa bomba é utilizada com frequência em sistemas solares de bombeamento de água pelo fato de operar normalmente mesmo quando sujeita a variações na tensão fornecida pelos módulos fotovoltaicos.

Da mesma família das bombas de diafragma, a bomba submersa vibratória mostrada na Figura 14 tem seu princípio de funcionamento baseado na variação de força eletromagnética gerada por um eletroímã, quando é aplicada uma corrente alternada. Dessa forma obtém-se o movimento alternativo de elementos engenhosamente articulados de modo a proporcionar pressões de admissão e de saída de água em função dos valores assumidos pela corrente elétrica no seu ciclo. Em geral apresenta baixa manutenção pelo fato de não possuir elementos mecânicos rotativos. São utilizados em bombeamento de água limpa em cisternas, poços tubulares com diâmetros maiores que seis polegadas, drenagem e transferência d'água de reservatórios (Hidrologia - conceitos e aplicações, 2008).

Devido a seu princípio de funcionamento, a bomba submersa solar necessita de um *driver* onde a energia é armazenada em capacitores e convertida em impulsos de energia para a bomba (ANAUGER SOLAR, 2011).



Figura 14 - Bomba vibratória e *Driver*.
Fonte: Solar Brasil, 2013

A segunda família de motobombas apresentada é das bombas hidrodinâmicas ou turbobombas sendo uma das mais utilizadas na indústria de processos

Uma fonte externa a bomba, causa o giro de rotores dentro do corpo da mesma, movimentando o líquido e criando a força centrífuga que se transforma em energia de pressão para expulsá-lo. Indicada para maiores volumes de água e menores alturas de bombeamento.

A Figura 15 apresenta a motobomba centrífuga pertencente à família das bombas hidrodinâmicas ou turbobomba



Figura 15 - Exemplo de uma bomba centrífuga.
Fonte: Moreira, 2009.

A bomba pistão apresentada na Figura 16 pertence a família das bombas volumétricas e funciona impulsionando o fluido pela diminuição do volume numa câmara ou passagem. É recomendada para menores volumes de água e maiores alturas de bombeamento, pois, consegue atingir um alto nível de pressão de recalque.



Figura 16 - Exemplo de uma bomba pistão.
Fonte: Toyama, 2013.

2.8 Sistema fotovoltaico de bombeamento.

Segundo Fedrizzi (2003), a utilização comercial do bombeamento fotovoltaico só começou por volta de 1978, na ilha de Córsega, apesar de algumas aplicações observadas na década de 50. Ainda conforme a mesma autora, os primeiros sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados no Brasil datam de 1981. Com um crescimento inicial baixo, o setor só experimentou um crescimento mais acelerado quando o Ministério de Minas e Energia implantou o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM), em dezembro de 1994.

Segundo Siqueira (2005), a conversão direta da energia solar em energia elétrica é feita através de módulos fotovoltaicos e é denominada Energia Solar Fotovoltaica.

Estes sistemas tornam, cada vez mais, uma opção interessante à medida que sua confiabilidade aumenta e o custo do kWh diminui; os sistemas fotovoltaicos tornam-se uma alternativa interessante à rede elétrica em áreas rurais e regiões remotas (MARINI; ROSSI, 2005).

De acordo com Fraidenraich (2002), WinrockInternational - Brasil (2002) e Zilles (2004), as principais aplicações da tecnologia fotovoltaica no país são relativas à telecomunicação, à eletrificação rural, aos serviços públicos e ao bombeamento de água. As telecomunicações, em particular as estações repetidoras de micro-ondas, constituem a aplicação mais antiga da tecnologia fotovoltaica no país. Na sua imensa maioria, as instalações têm estado a cargo de organismos públicos (Telebrás).

Conforme Fedrizzi (2003), a tecnologia da conversão fotovoltaica da energia solar é aplicada na eletrificação rural há mais de três décadas. Sua principal utilização comunitária é o bombeamento de água e, de acordo com Presenço (2007), uma considerável quantidade de recursos financeiros pode ser poupada quando se bombeia água usando sistemas fotovoltaicos. A vantagem do bombeamento durante um período de radiação solar elevada é que a água pode ser armazenada em reservatórios para o seu aproveitamento máximo, por que nem toda energia solar captada é requerida no momento.

Muitas propriedades e comunidades rurais no Brasil, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, não são atendidas com energia elétrica, pois estão distantes das centrais de geração e de distribuição de eletricidade. Nesses casos, a energização em sua forma convencional, se torna inviável pela grande dispersão geográfica dessa população, baixo nível de consumo, alto investimento necessário por consumidor e elevado custo operacional. Estudos comparativos com a eletrificação urbana apontam baixo retorno ou até mesmo prejuízo financeiro para a concessionária de energia elétrica.

Sistemas de bombeamento de águas com energia solar podem ser utilizados na pecuária irrigação entre outras aplicações, pois, se tratam de sistemas duráveis, moveis e apresentam benefícios econômicos em longo prazo (VAN PELT et al, 2012).

A caracterização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água envolve parâmetros de referência, como a demanda diária de água, m^3 /dia, a disponibilidade do recurso solar local, kWh/m^2 /dia, e a altura manométrica total, mca. No entanto, a experiência tem demonstrado que, apesar de um bom dimensionamento, nem sempre os sistemas instalados apresentam o desempenho esperado indicado nos catálogos comerciais. Essa realidade faz com que se recomende a realização de testes de desempenho dos módulos fotovoltaicos e do sistema motobomba (dispositivo de condicionamento de potência mais conjunto motobomba), antes de sua instalação em campo (FEDRIZZI, 2003; NARVARTE; POZA; LORENZO, 2006 apud MELÉNDEZ, 2009).

Para Kolling et al. (2004), “um sistema fotovoltaico de bombeamento diretamente acoplado é constituído de três componentes principais: um conjunto fotovoltaico, um motor de corrente contínua e uma bomba-d’água. O painel fotovoltaico converte energia solar em corrente elétrica que alimenta o motor, o qual é acoplado à bomba d’água. Quando o painel supre o motor com potência elétrica suficiente, ele produz torque mecânico e a bomba começa a trabalhar”. A este conjunto de componentes obviamente deve-se acrescentar um reservatório para a água, ou seja, uma caixa-d’água.

Geralmente um sistema de bombeamento funciona sem baterias para armazenamento de energia. O armazenamento da água em reservatórios é a solução mais comumente adotada na maioria das aplicações de bombeamento. “O motor é a máquina que transforma a energia elétrica em energia mecânica” (HAMIDAT; BENYOUCEF, 2007).

Para a movimentação de uma bomba em um sistema fotovoltaico de bombeamento d’água pode-se utilizar, tanto um motor de corrente contínua (CC) diretamente conectado ao painel solar, quanto um motor de corrente alternada (CA). Neste segundo caso é

necessário um inversor entre o motor e o painel para conversão da corrente contínua gerada pelo painel em corrente alternada consumida pela bomba. Geralmente o motor forma única peça com a bomba e é conhecido como motobomba, apesar de ser comumente chamado de bomba. Quanto à localização das motobombas em um sistema de bombeamento existem modelos para instalação em superfície, tanto em terra como em flutuadores sobre lâminas d'água e modelos para instalações submersas, dentro de poços. Dentre as configurações possíveis para um sistema de bombeamento solar, Figura 17 mostra as mais usadas. O conjunto motobomba submerso (A), o motor na superfície e bomba submersa (B), o conjunto motobomba flutuante (C), o conjunto motobomba na superfície (D) (FEDRIZZI, 1997).

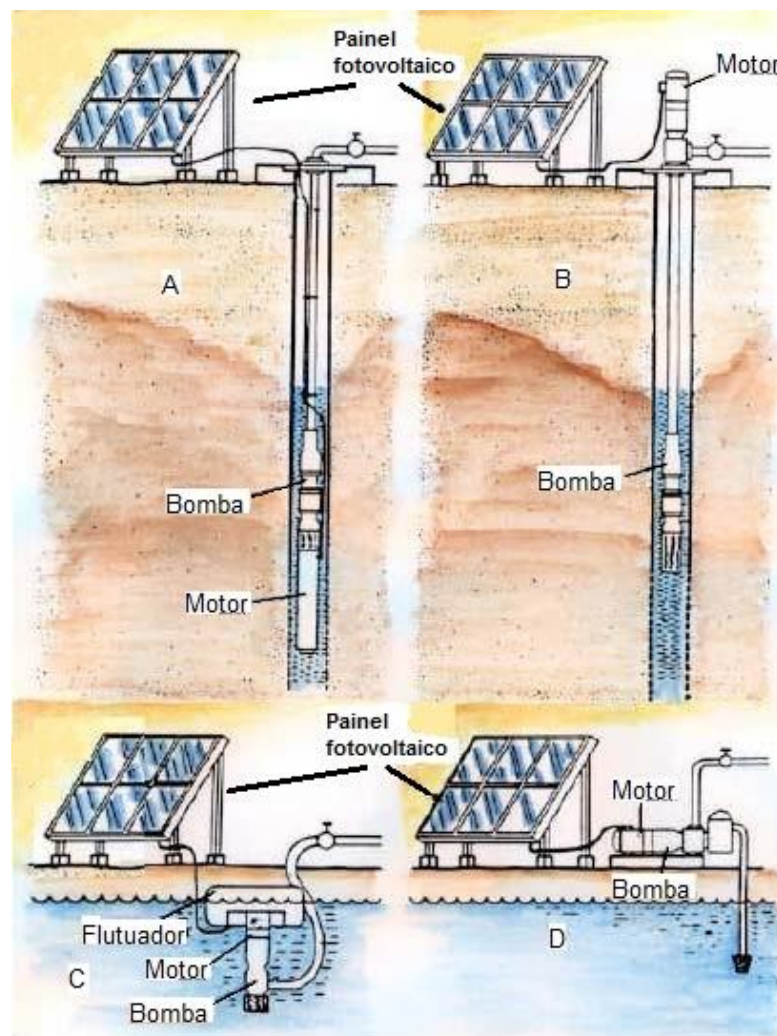


Figura 17 - Configurações mais usuais para um sistema de bombeamento solar (adaptado).
Fonte: Fraenkel, 1990.

Santos (2010) apresentou um trabalho onde analisou o desempenho de um sistema de bombeamento de água acionado por energia solar, realizado na cidade de Medianeira - PR. O sistema de bombeamento, por acoplamento direto, era composto por um gerador fotovoltaico, Solarex MSX-56, um motor de corrente contínua e uma bomba de

diafragma SolarJack SDS-D-228. Após análise dos resultados, do experimento, foi concluído que: A temperatura máxima atingida pelo painel fotovoltaico no solstício de inverno foi de 51.1 °C. No solstício de verão o valor foi de 59.89 °C. A irradiação solar para os dias de inverno e verão atingiram valores máximos de 907 W.m⁻² e 1070 W.m⁻² respectivamente. A vazão apresenta uma média de 4.59 l/min para o solstício de inverno e vazão média de 4.64 l/min no solstício de verão.

Nogueira (2013) avaliou o desempenho de duas bombas movidas a energia renovável O objetivo desse estudo foi verificar a viabilidade econômica de sistemas geradores de energia eólica e solar fotovoltaica no bombeamento de água para irrigação em frutíferas nas propriedades rurais.

Neste trabalho, verificou-se que o sistema fotovoltaico foi mais eficiente do que o sistema eólico no bombeamento de água para a irrigação em propriedades rurais. A implantação destes sistemas simplificados é acessível aos agricultores familiares, devido ao baixo custo inicial de instalação. Dessa forma, leva-se a esses a possibilidade real de ganhos financeiros e agrícolas, assim como uma significativa melhoria ambiental e social. É importante o aproveitamento e uso de águas hoje dispersas na natureza, ou seja, água das chuvas e superficiais, através da construção de reservatórios para situações críticas de estiagem, para que se possa deixar às gerações futuras um manancial subterrâneo para uso mais nobre. Destaca-se que para o bom funcionamento do sistema eólico é importante realizar estudos sobre os aspectos construtivos de cata-ventos, no que diz respeito à utilização de diferentes tipos e números de pás, alturas distintas e uma avaliação do sistema mecânico/altura. Também, recomenda-se a construção de mapas detalhados de velocidade de vento Os resultados demonstraram a viabilidade de equipamentos eólicos e solares fotovoltaicos para utilização na irrigação complementar para as culturas de goiabeira, figueira e videira. Com o sistema fotovoltaico, o volume bombeado foi de aproximadamente 5000 m³ e com o sistema eólico o volume bombeado foi de 6 m³. Os conjuntos eólicos demonstraram baixa eficiência, se comparados com os sistemas fotovoltaicos, os quais se mostraram mais eficientes.

Michels et al.(2007), avaliou um sistema de bombeamento de água alimentado por energia solar formado por uma única bomba alimentada de forma direta por painéis fotovoltaicos, às grandezas que foram registradas e avaliadas em seu experimento foram: tensão, corrente, potência gerada pelos painéis; tensão e potência necessárias para o

acionamento da motobomba; a irradiação média da região em todas as estações do ano, principalmente no solstício de inverno, quando seu valor é reduzido; a vazão e a pressão da água fornecida pela motobomba. Sua metodologia teve como objetivo determinar através dos dados coletados o rendimento do painel fotovoltaico, a potência do painel fotovoltaico, a potência hidráulica da motobomba, o ponto de estabilização do sistema, o comportamento do sistema nos períodos de solstício e a vazão mensal de água bombeada.

Moreira (2009) avaliou o desempenho hidroenergético de sistemas de bombeamento de água acionados por energia solar fotovoltaica, utilizando painéis mono e policristalinos. Os sistemas avaliados utilizaram bomba de superfície, modelo Shurflo 8000, e foram alimentados alternadamente por quatro pares de arranjos de painéis solares fotovoltaicos, sendo os painéis monocristalinos de 65 W cada e os policristalinos de 70 W cada. O volume médio diário de água bombeada pelos vários arranjos testados, durante quatro meses de experimento, variou entre 1.100 e 2.500 litros. Os sistemas com dois painéis monocristalinos apresentaram melhor desempenho, mas a utilização de apenas um painel policristalino pode ser uma solução econômica para consumos de até 1.500 L diários.

Meléndez 2009, em um estudo avaliou sistemas fotovoltaicos de bombeamento utilizando bombas centrifugas, comparando dados de dois sistemas de bombeamento um sistema chamado de “ Sistema alternativo” caracterizado por operar com a tensão e a frequência da rede elétrica convencional que foi conectado em um sistema inversor de frequência alimentado a energia solar o outro sistema denominado “Sistemas dedicados à tecnologia fotovoltaica” foram testados duas bombas comumente dedicadas a energia solar alimentadas por painéis fotovoltaicos utilizando dispositivo de condicionamento de potência. O desempenho do sistema alternativo e dos dedicados à tecnologia fotovoltaica foi avaliado mediante a comparação da eficiência diária de cada sistema e mediante a comparação do volume bombeado nas condições de referência, 5 kWh/m² /dia. Salienta-se que o resultado da eficiência instantânea de cada sistema não é um bom indicador de avaliação, pois varia em relação à irradiância solar ao longo do dia.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Sítio modelo

O presente trabalho foi desenvolvido nas dependências do Sítio Modelo na Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA/UNESP de Botucatu.

A Figura 18 mostra as delimitações do Sítio Modelo, nas coordenadas -22°51'11.22", -48°25'49.20", está assinalado o local da central de Microgeração Distribuída Fotovoltaica – MGD-FV. A central está a uma distância aproximada de 500 metros do Departamento de Engenharia Rural da FCA-Unesp (UNESP, 2013).

O projeto de MGD-FV tem por objetivo principal a implantação de infraestruturas de geração distribuída fotovoltaica no Sítio Modelo; que abre inúmeras possibilidades de divulgação, desenvolvimento de pesquisas e tecnologias relacionadas à microgeração de energia elétrica via conversão fotovoltaica para diversas aplicações, alinhando o objetivo do projeto aos objetivos do Sítio Modelo. Essa infraestrutura é utilizada na realização desta pesquisa.

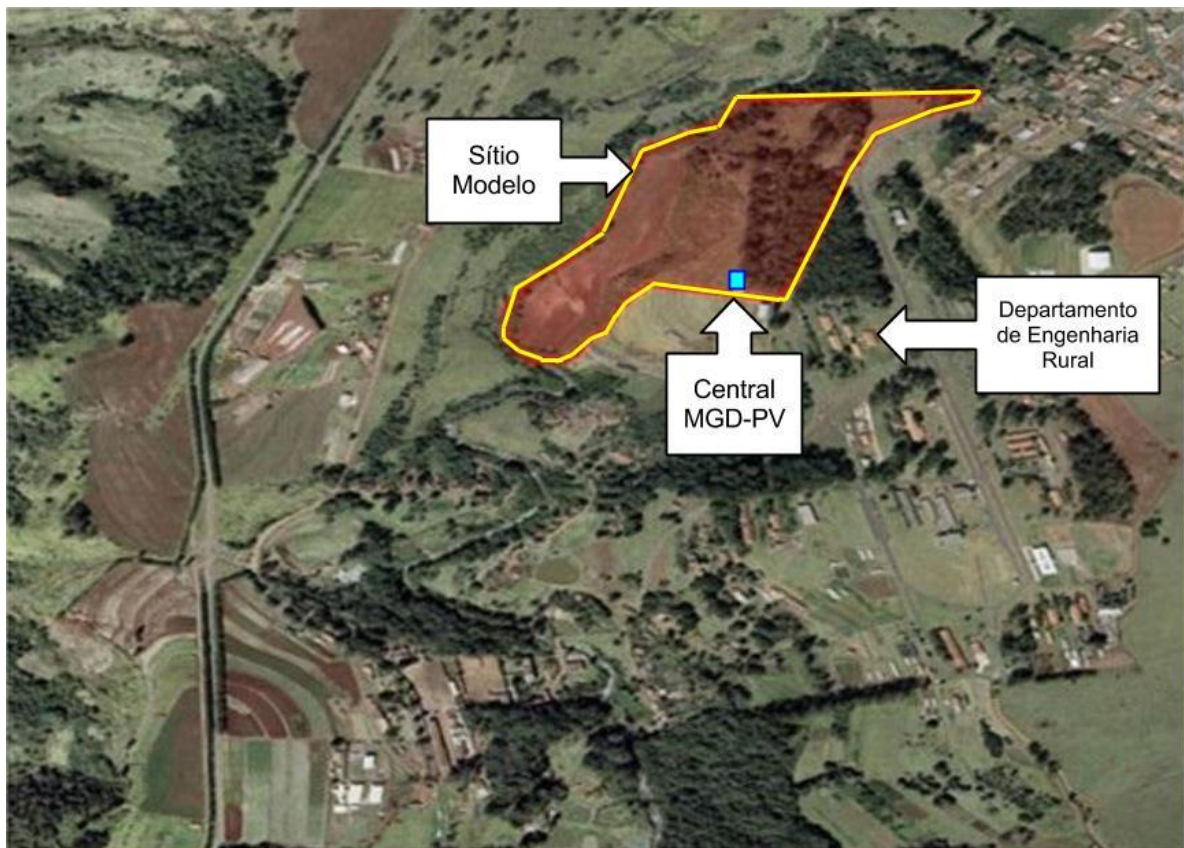


Figura 18 - Localização do Sítio Modelo e central de MGD-PV
Fonte: UNESP, 2013

3.1.2 Caracterização dos sistemas

O arranjo fotovoltaico projetado é um sistema autônomo, com potência de 1536WP dividido em doze módulos, porém, apenas quatro dos doze módulos foi utilizado nesse experimento. Esses quatro módulos formam dois painéis de dois módulos que alimentam diretamente dois circuitos de bombeamentos denominados SBF1 (sistema de bombeamento fotovoltaico 1) e SBF2 (sistema de bombeamento fotovoltaico 2). Os equipamentos necessários para atender a metodologia estão descritos na Tabela 3

Tabela 3 - Componentes utilizados no experimento

Componente	Aplicação	Especificações	Qtd
Modulo fotovoltaico	Geração de energia	Silício Policristalino 130WP	04
Bomba d'água SBF1	Bombeamento de água para reservatório elevado	Vazão de 396 l/h a 35 mca e 792 l/h a 0 mca. Irradiação 6,0kW/m ² por dia - temperatura ambiente 25°C	01
Bomba d'água SBF2	Bombeamento de água para reservatório elevado	Vazão de 150 l/h a 40 mca e 840 l/h a 0 mca. Irradiação 6,0kW/m ² por dia - temperatura ambiente 25°C	01
Cisterna	Reservatório de água pluvial	Caixa d'água 5000 l	02
Reservatório elevado	Reservatório de água bombeada	Caixa d'água 5000 l	02
Sensor de nível tipo boia	Impedir que a bomba ligasse quando o nível da cisterna estiver baixo.	Sensor tipo boia com um contato reversível.	02
Sensor de vazão	Medir a vazão de cada sistema	Sensor de vazão efeito hall ½ " cap. Max. 30 l/min	02
Válvula de controle de fluxo	Variar a pressão da tubulação de recalque	Registro de gaveta ¾"	02
Tubulação	Ligações hidráulicas dos sistemas	Tubos de pvc ¾ "	**
Suporte das placas fotovoltaicas	Apoiar e posicionar as placas fotovoltaicas.	Estrutura de metal	01
Microcomputador	Receber e registrar os dados do sensor de vazão.	Intel Pentium Dual Core 2.10Ghz, 4 G RAM, 32 Bits.	01
Arduino duemilanove	Processar os dados dos sensores de vazão, para envio e recepção via XBEE.	Microcontrolador ATmega328, 14 pinos de entrada/saída digital, 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB,	02
Módulos XBEE	Enviar e receber os dados dos sensores de vazão TX-RX.	XBEE pro	02

** Quantidade Necessária

Componentes	Aplicação	Especificações	Qtd
Shield para o XBEE	Conectar o arduíno duemilanove no modulo TX-RX XBEE	. O componente trabalha com todos os módulos XBee incluindo o Série 1 e Série 2 (e 2.5), padrão e versão Pro.	02
Antena	Aumentar o ganho do TX-RX XBEE	Antena Omnidirecional 2.1 dBi / 2.4 GHz Para módulos XBee/XBee-Pro com conector RP-SMA.	02
Modulo de dados Carlo Gavazzi VMU-C	Gerenciar e armazenar a leitura de variáveis dos módulos VMU-S e VMU-P.	Modulo mestre de controle e comunicação. Servidor FDP, duas entradas digitais, duas entradas de sensor de temperatura e gerenciamento de barramento local para mix de ate 15 módulos. VMU-S, VMU-P e VMU-O	01
Modulo de leitura de corrente e tensão elétrica VMU-S	Fazer a leitura dos dados de corrente e tensão de cada motobomba	Tensão de medição até 1000V CC Medição de corrente CC Direta até 16A ou até 30A Variáveis instantâneas: V, A, W. Fonte de alimentação via unidade VMU-M	02
Modulo de leituras de variáveis ambientais VMU-P	Gerenciar a leitura dos sensores de irradiação, velocidade do vento, temperatura.	Conecta um modulo de leitura PVS1, um PT100 ou PT1000 e uma entrada para pulso de anemômetro.	01
Sensor de variáveis ambientais PVS1	Medir a irradiação solar incidente no plano dos painéis que alimentam os sistemas de bombeamento.	$65 \text{ mV}/1000 \text{ W.m}^{-2}$	01

3.1.3 Sensor de radiação solar

Para medir a incidência da radiação no plano do painel solar foi utilizado um piranômetro PVS1 Carlos Gavazzi fixado na estrutura suporte das placas fotovoltaicas com mostra a Figura 19.



Figura 19-Sensor de irradiação PVS1 fixado no suporte do painel

3.1.4 Abrigo dos equipamentos e suporte das placas.

O abrigo foi projetado para proteger os equipamentos de condições atmosféricas adversas, garantir a integridade física, facilitar a visualização e instalação dos equipamentos. Foi construído em alvenaria as portas e a estrutura que suporta as placas fotovoltaicas foram fabricadas em ferro. A Figura 20 apresenta o abrigo dos equipamentos com as placas fotovoltaicas instaladas e direcionadas para o norte.



Figura 20- Suporte já instalado e a casa de equipamentos

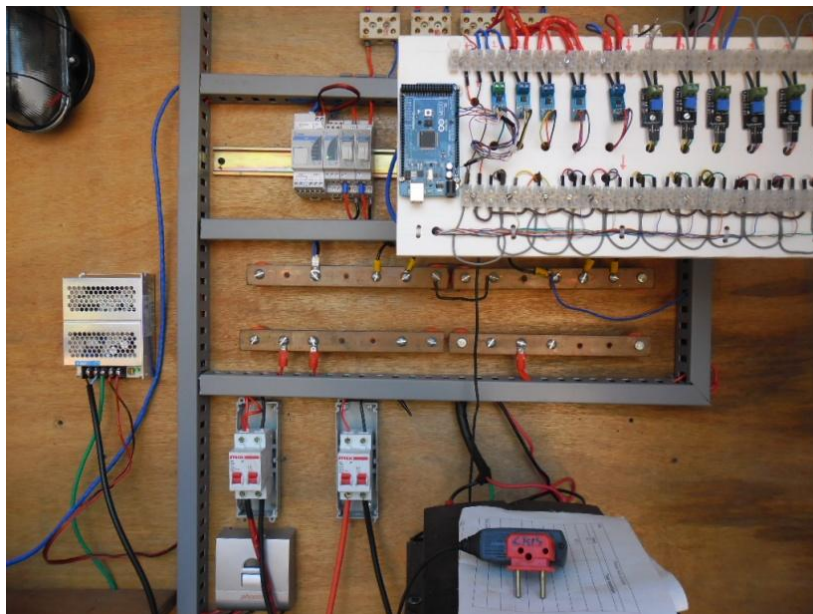


Figura 21 - Equipamentos Instalados

A

Figura 21 mostra o os equipamentos que compõem o experimento tal como os barramentos de ligação e a Figura 22 mostra em detalhe o equipamento da Carlo Gavazzi VMU-M com seus módulos de leitura de variáveis ambientais e seus dois módulos de leitura de tensão e corrente. A Figura 23 mostra o equipamento Arduino com o modulo de transmissão dos dados do sensor de vazão.



Figura 22 - Detalhe do equipamento VMU-M com as expansões

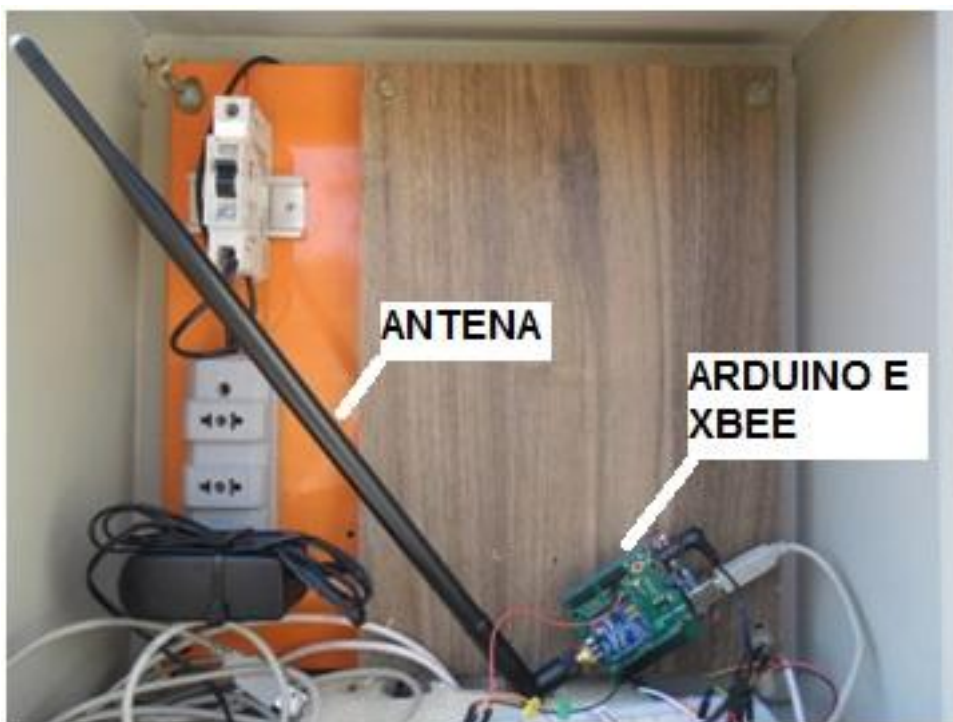


Figura 23- equipamento Arduino com o modulo de transmissão de dados e antena.

3.2 Método

Os dois sistemas propostos tem a mesma função; cada um é constituído de duas placas solares que alimentam uma moto bomba de forma direta que durante o período de 15 dias trabalharam em três alturas/pressões manométricas distintas divididas em grupos de cinco dias para cada altura manométrica.

Foram calculados os índices de bombeamento para cada altura manométrica mediante a coleta diária de dados do volume bombeado em litros (l), vazão instantânea em litros por minuto (l/min), irradiação em kWh.m⁻²/dia (integração da irradiação ao longo do dia); da altura manométrica em metros de coluna d'água (mca) e energia elétrica gerada, kWh/dia (ao longo dos cinco dias de cada um dos três períodos de bombeamento). A Figura 24 mostra o diagrama de blocos do sistema fotovoltaico de bombeamento.

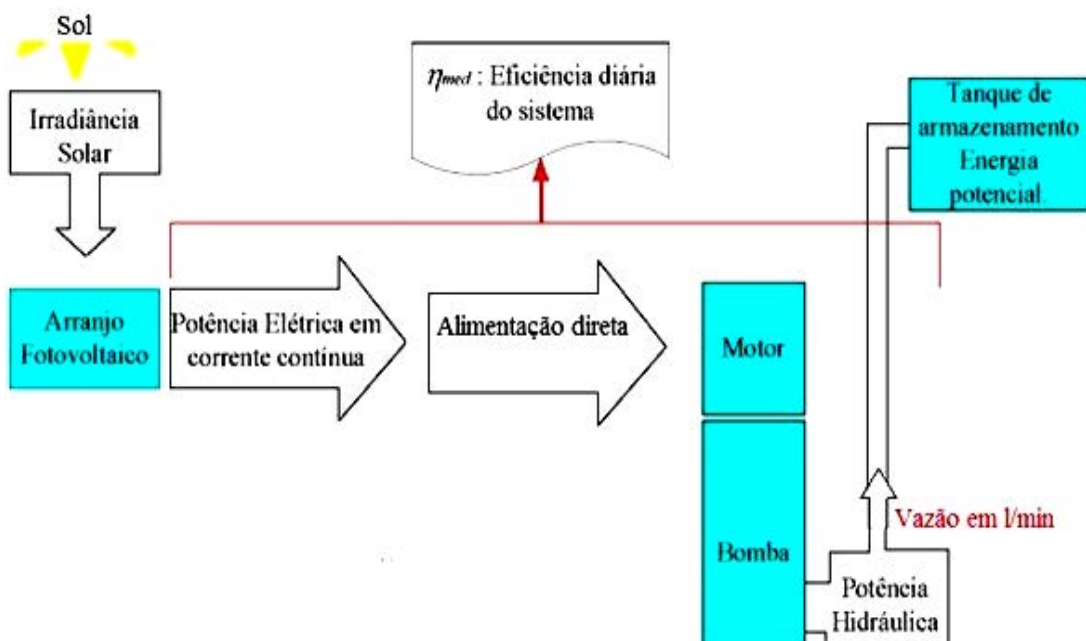


Figura 24 - Diagrama de blocos do sistema fotovoltaico de bombeamento

3.2.1 Ligação elétrica dos sistemas

Os módulos de geração fotovoltaica foram conectados a um barramento. A tensão de trabalho da carga é que define o tipo de ligação dos módulos de geração fotovoltaicos, nesse caso em específico isso se deve a características das bombas d'água. O conjunto motobomba SBF2 trabalha com uma tensão máxima de 36 VCC.

Para compatibilizar as tensões entre os equipamentos de geração e carga, a tensão de saída do painel foi elevada para 24 V por meio de ligação em série de pares de módulos de 12 V. Portanto o painel que alimentara o seu circuito será composta por dois módulos de 12VCC conectados em serie, conforme apresentado na Figura 25.

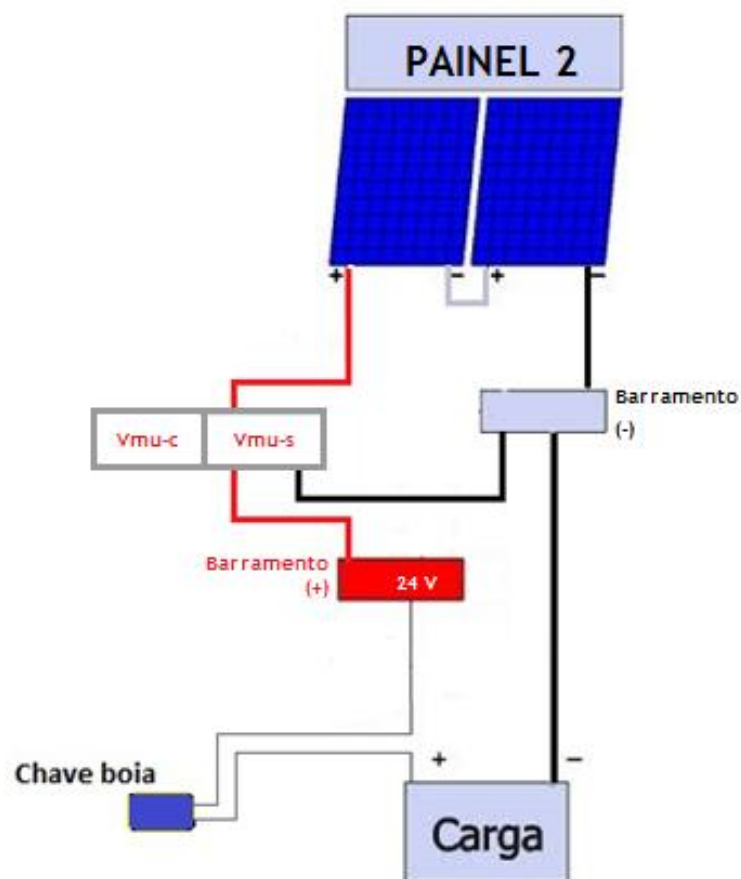


Figura 25 - Ligação elétrica moto bomba SBF2.

O bombeamento SBF1 trabalha com uma tensão máxima de 12 VCC. Para compatibilizar as tensões entre os equipamentos de geração e carga e manter a mesma característica de potência disponível nos dois sistemas, os módulos foram conectados em paralelo obtendo um painel de 12 V. Portanto painel que alimentara o seu circuito será composta por dois módulos de 12VCC conectados em paralelo como apresentado na Figura 26.

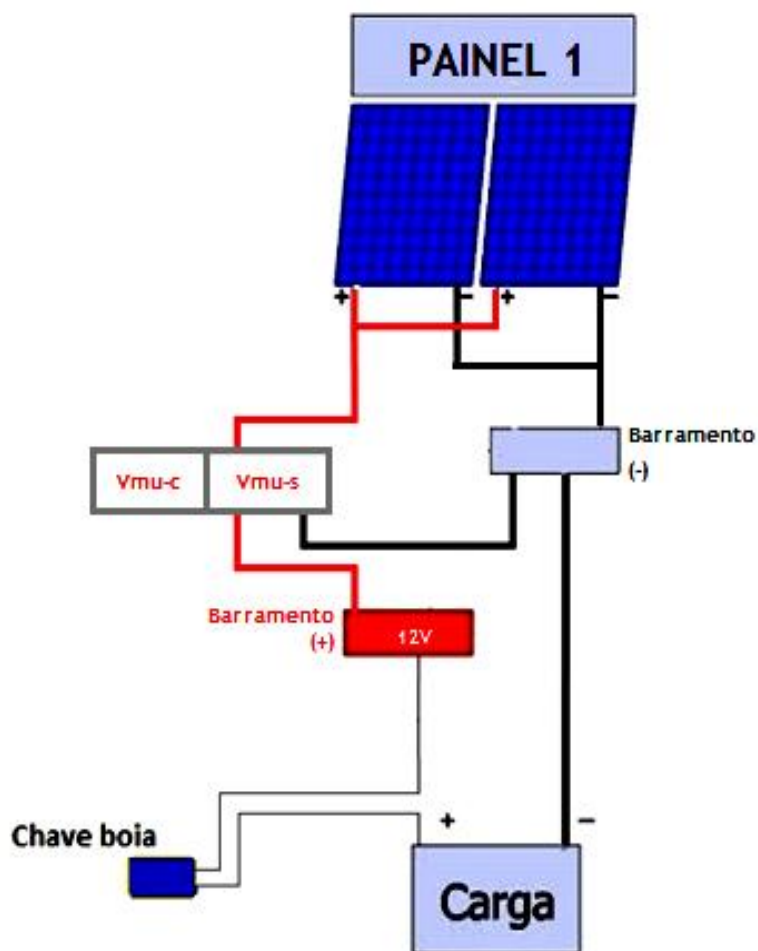


Figura 26 - Ligação elétrica moto bomba SBF1

3.2.2 Configuração do sistema hidráulico

A disposição esquemática dos sistemas de bombeamento encontra-se na Figura 27.

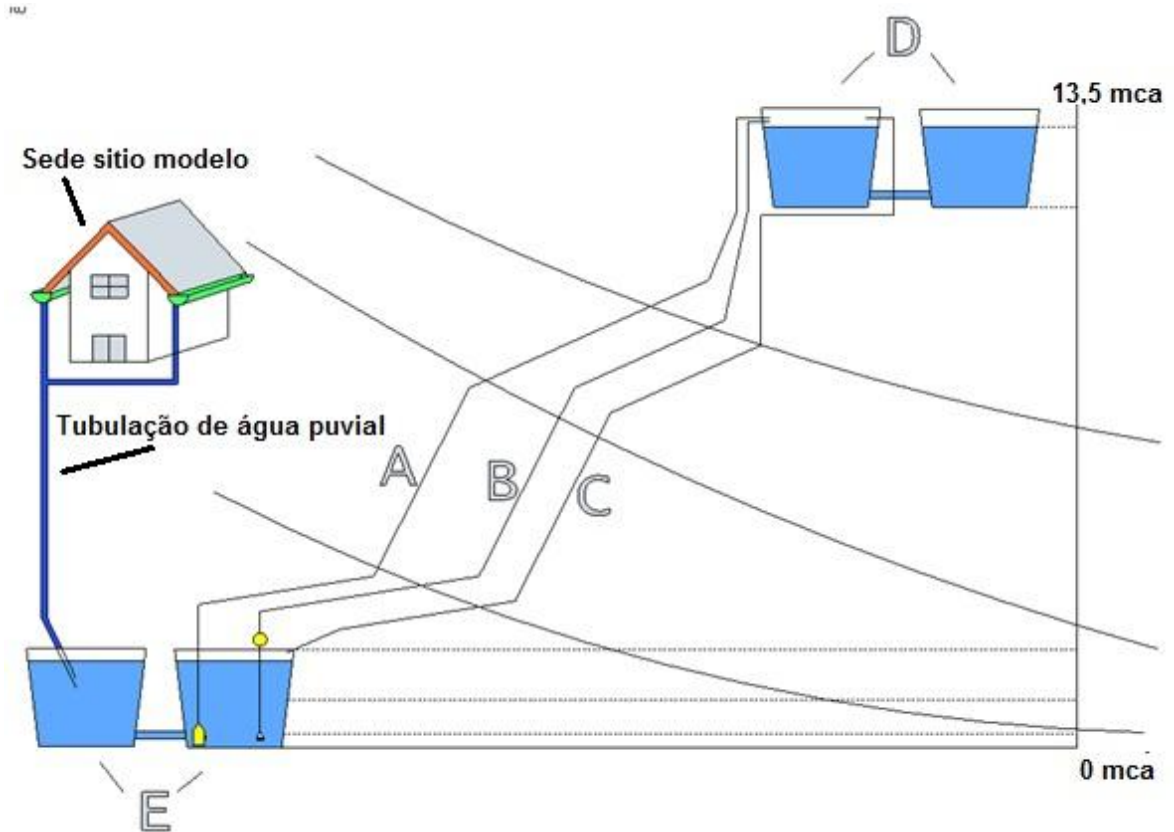


Figura 27 - Composição dos sistemas e a altura do desnível geográfico.

A Tabela 4 abaixo faz referencia aos componentes da Figura 27; a Figura 28 e 29 detalham as conexões hidráulicas para o SBF1 e SBF2 respectivamente.

Tabela 4 - Referencia de componentes do sistema de bombeamento solar

Referencia	Descrição do equipamento
A	Tubulação de recalque SBF2 com 119,5m de comprimento
B	Tubulação de recalque SBF1 com 119,5m de comprimento
C	Tubulação de retorno da água que foi bombeada (recircular)
D	Reservatórios elevados 5000L colocado em plataforma
E	Cisterna para água pluvial 5000L colocado no solo
Hmax	Desnível geográfico de 12,5 m.

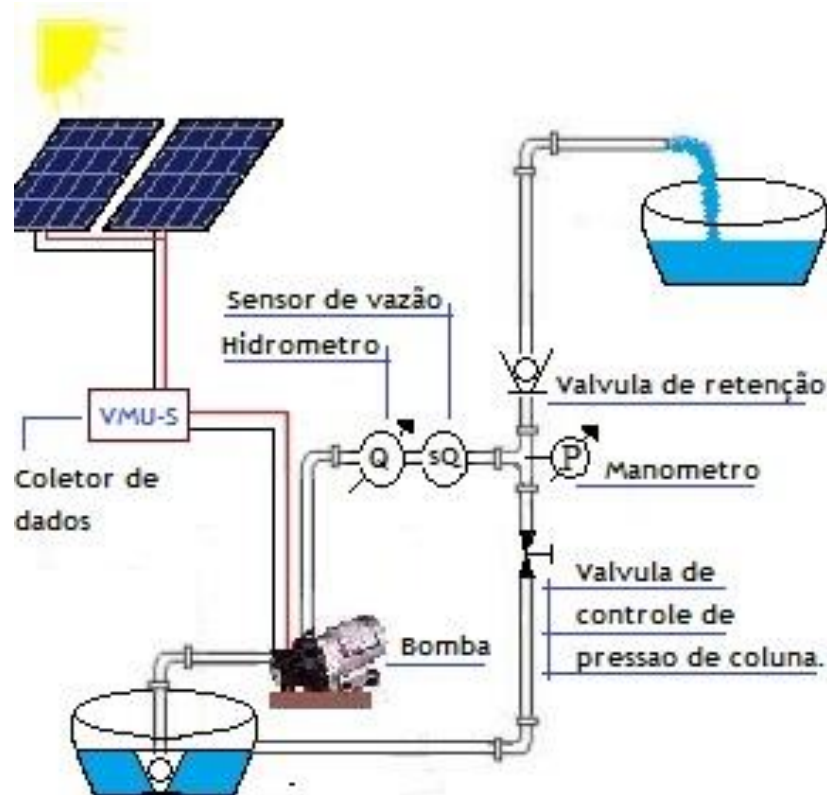


Figura 28 - Configuração do sistema SBF1.

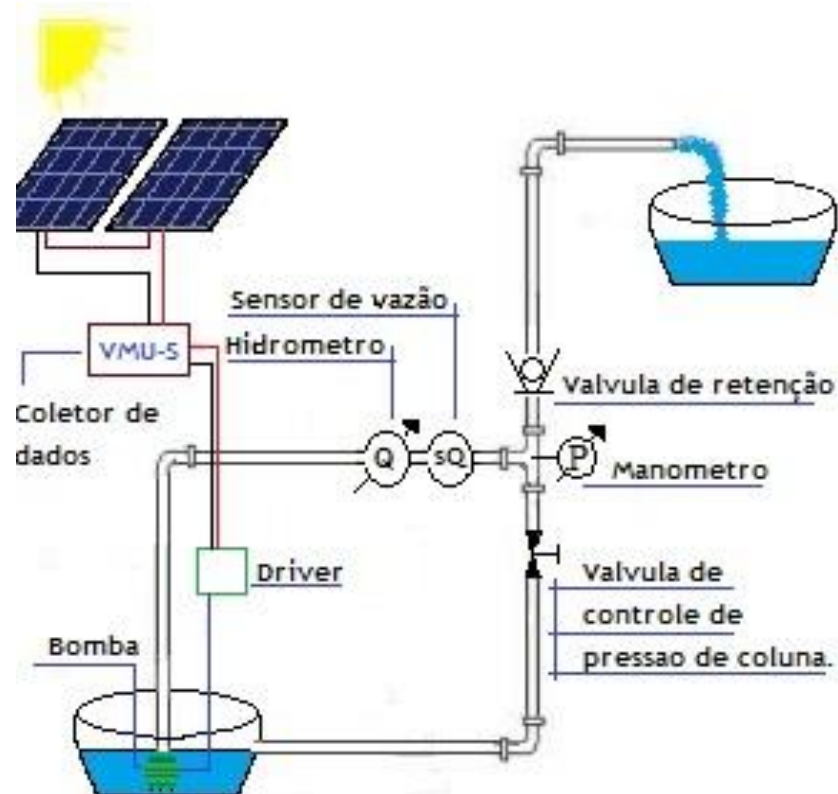


Figura 29 - Configuração do sistema SBF2.

3.2.3 Variação da altura manométrica.

A determinação desta variável é de fundamental importância para a seleção uma bomba hidráulica adequada. Essa grandeza pode ser definida como a quantidade de trabalho necessário para movimentar um fluido, desde uma determinada posição inicial, até a posição final, incluindo nesta “carga” o trabalho necessário para vencer o atrito existente nas tubulações por onde se desloca o fluido.

Altura manométrica (H_m) de um sistema hidráulico é a soma de sua altura geométrica (H_g) com as perdas que ocorrem nas tubulações de sucção e recalque, transformadas em comprimentos equivalentes de linha (H_p). Os sistemas SBF1 e SBF2 foram projetados para a altura manométrica ser variável

A variação da altura manométrica se da pelo alívio na pressão da linha de recalque utilizando de um registro de gaveta.

O procedimento para variação da pressão de recalque das duas bombas é idêntico e esta representada na Figura 30.

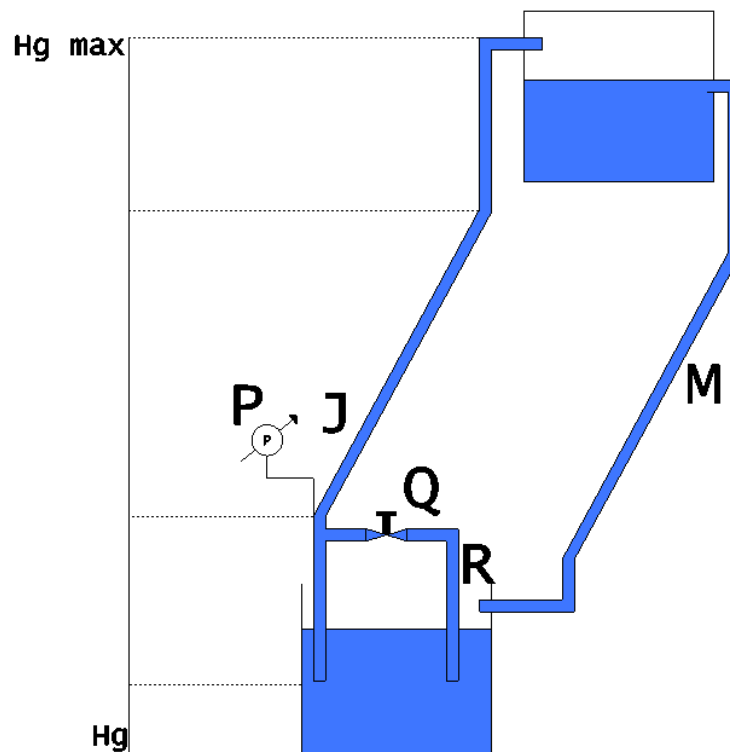


Figura 30- Representação do esquema de variação da altura manométrica.

A válvula de controle Q (registro de gaveta $\frac{3}{4}$ "') que desvia o fluxo de água da tubulação J é a responsável pelo alívio da pressão da linha de recalque das motobombas; o procedimento para variação e obtenção da altura manométrica de trabalho desejado é realizado da seguinte forma.

Para se obter a pressão máxima da linha é necessário fechar a válvula Q por completo e fazer a leitura de pressão no manômetro P dos dois sistemas; após isso se necessário abra a válvula de alívio Q do sistema que esteja com maior pressão bem lentamente até obter a mesma pressão do sistema que esta com a válvula totalmente fechada.

Para pressão mínima, media e qualquer outra desejada à válvula Q é ajustada pelo operador com base na leitura do manômetro P.

As alturas manométricas de trabalho experimentadas nesse estudo foram 2,5 mca, 7,5 mca e 13,5 mca;

3.2.4 Sistema de Aquisição e processamento dos dados

Para obter os dados necessários para gerar os índices de desempenho foram utilizados dois equipamentos de leitura e registro de dados. O primeiro equipamento VMU-C tal como seus módulos ficaram a cargo da leitura das variáveis: Tensão elétrica; corrente elétrica; e irradiação solar. Um segundo equipamento foi utilizado na leitura de vazão e foi baseado no trabalho de Helmeman (2014).

3.2.4.1 Medidas de energia solar diária corrente e tensão elétrica

O conjunto VMU-C registrou a cada segundo os dados de irradiação lidos na superfície inclinada do painel através do sensor de irradiação PVS1 Figura 19 que é conectado ao modulo VMU-P e os valores de tensão e corrente, lidos através dos módulos VMU-S. Os dados descarregados em planilha foram apresentados em media de 5 minutos registrados. Este processo se constitui basicamente em fornecer uma tensão, corrente e Irradiância conhecida para que se pudessem calcular a potencia e a energia consumida e disponível nos sistemas SBF1 e SBF2. A Figura 22 apresenta o arranjo dos equipamentos VMU.

3.2.4.2 Medidas do volume de água bombeado

A leitura do volume de água bombeado foi realizada diariamente com um Sensor de fluxo de água digital ½" instalados na saída de recalque de cada motobomba.

A Figura 31 apresenta o arranjo utilizado para aquisição dos dados de vazão dos dois sistemas onde respectivamente são numerados os sensores de vazão 01 e 02; o arduino duemilanove 03, shield 04, Xbee 05, antena de transmissão 06. Os componentes se repetem em 07, 08, 09 e 10 e é acrescido de um microcomputador 11 para registros dos dados transmitidos. Os programas de coleta e armazenamento de dados, programa de transmissão de dados e sistema gerenciador de banco de dados foram desenvolvidos com base no trabalho Helmeman (2014).

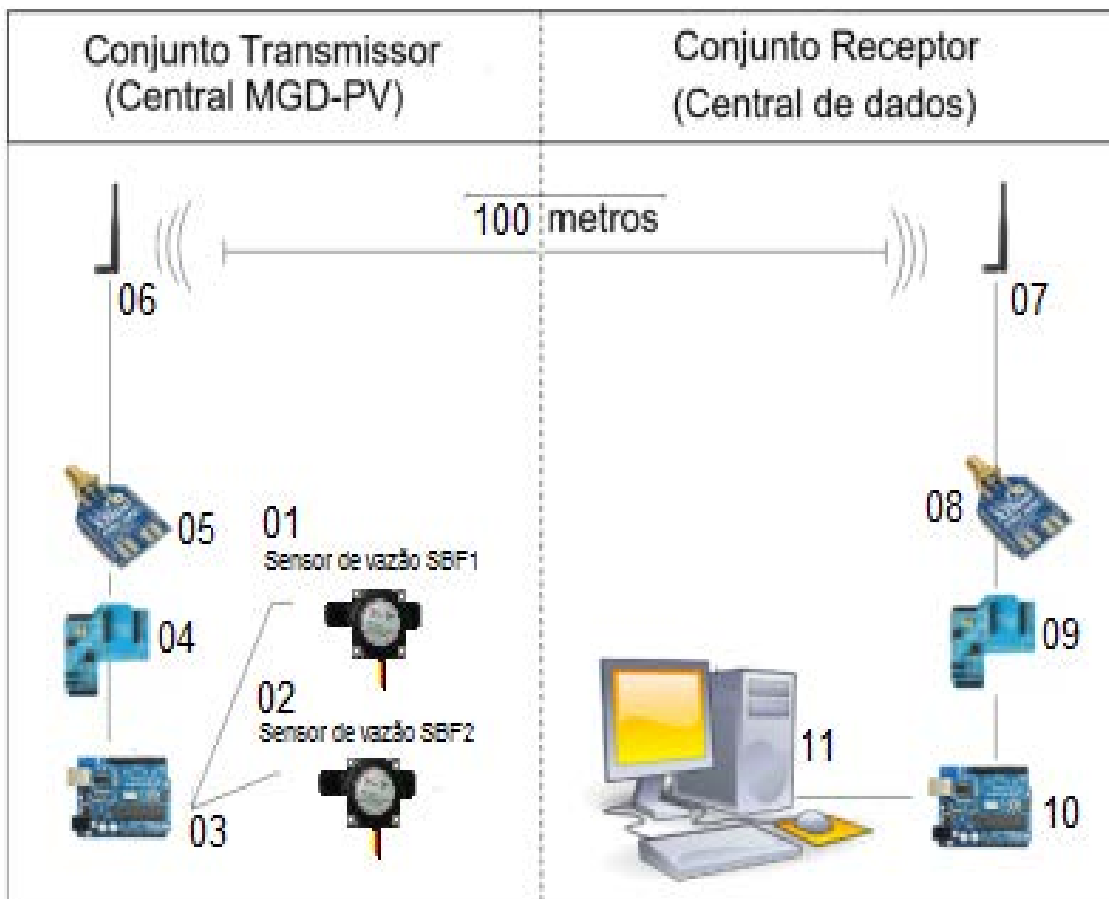


Figura 31- Arranjo para leitura e registro dos dados de vazão.

3.2.5 Parâmetros calculados

Os parâmetros apresentados a seguir são calculados com base nos dados registrados pelos sensores em campo.

3.2.5.1 Cálculo da potência consumida

A potência elétrica é o produto tensão x corrente.

$$Pc = V \times I \quad (3.1)$$

Onde:

Pc - potência consumida em watts (W).

V - tensão em volts (V).

I - corrente em amperes (A).

Essa metodologia diz respeito a análise de circuito em corrente contínua. Onde se tem a potência útil do sistema intrinsecamente em função dos valores de tensão e corrente do mesmo. Essa formula foi utilizada para calcular o valor de Potência consumido pelas bombas.

3.2.5.2 Cálculo da energia disponível e energia consumida

A transformação da irradiação total (RT) ou potência disponível (PD) em energia disponível (ED) e a transformação da potência consumida ou requerida pela carga (PC) em energia consumida (EC) foram feitas através das Equações (3.2) e (3.3) respectivamente (Niedzialkoski,2013),:

$$Ed = Rt \times t \quad (3.2)$$

$$Ec = Pc \times t \quad (3.3)$$

Em que:

$$Rt = Rs \times A \quad (3.4)$$

Onde:

E_d - energia disponível (Wh);

E_c - energia consumida, (Wh);

R_t - irradiação total (W);

t - tempo (h).

P_c - potência consumida ou requerida pela carga (W);

R_s - irradiância, ($W.m^{-2}$),

A - área útil do módulo (m^2).

3.2.5.3 Cálculo das eficiências

Para o cálculo da eficiência real dos painéis que alimentam SBF1 e SBF2, foi utilizado o método de Niedzialkoski (2013), onde são determinados os pontos máximos de energia disponível (ED) e energia consumida (EC) para cada uma das três situações propostas. A eficiência de cada painel fotovoltaico foi obtida por meio da Equação (3.5), (MOREIRA, 2009).

$$\eta_p = \left(\frac{E_c}{E_d} \right) \times 100 \quad (3.5)$$

Sendo:

η_p - eficiência do painel (%);

E_c - energia consumida (Wh),

E_d - energia disponível (Wh).

A eficiência da motobomba foi calculada pela equação seguinte (MANTOVANI et al., 2007):

$$\eta_{mb} = \frac{Q \times Hm \times 736}{75 \times U \times I} \quad (3.6)$$

Onde:

η_{mb} - eficiência da motobomba (%);

Q - vazão (m^3h^{-1});

Hm - altura manométrica (m);

U - tensão (V);

I - corrente (A).

A eficiência global do sistema fotovoltaico de bombeamento foi obtida através do produto entre a eficiência do módulo fotovoltaico e a eficiência da motobomba, conforme segue na Equação (3.7):

$$\eta_g = \frac{\eta_p \times \eta_{mb}}{100} \quad (3.7)$$

Onde:

η_g - eficiência global (%);

η_p - eficiência do painel (%)

η_{mb} - eficiência da motobomba (%).

3.2.5.4 Cálculo do índice de bombeamento

O índice de bombeamento para motobombas foi obtida por meio da Equação (3.8), (MOREIRA, 2009).

$$Ib = \left(\frac{Qd}{Ed} \right) \quad (3.8)$$

Sendo:

Ib – índice de bombeamento;

Qd- volume de bombeado por dia (l).

Ed - energia disponível (Wh).

3.2.5.5 Cálculo do índice de consumo

O índice de consumo é obtido através da equação (3.9) e tem como objetivo indicar a quantidade de energia gasta por litros bombeados.

$$Ic = \left(\frac{Ed}{Qd} \right) \quad (3.9)$$

Sendo:

Ic – índice de consumo;

Qd- volume de bombeado por dia (l).

Ed - energia disponível (Wh).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises apresentadas a seguir objetivam apresentar a correlação entre as grandezas em estudo construindo uma base de dados concreta, para obtenção dos índices de desempenho propostos na metodologia.

4.1 Vazão em função da Irradiância

Os coeficientes R^2 próximos de seu valor máximo 1,00 garante que os pontos distribuídos nos gráficos são representados com boa aproximação por essas equações, e expressa a grande relação existente entre as grandezas avaliadas nas condições desse experimento.

As Figuras 32 a 37 representam o comportamento da vazão dos períodos em função da irradiância ($W.m^{-2}$) e as respectivas curvas de tendência resultantes. É a por meio dessa análise que se verifica qual será o comportamento e quão forte será a relação entre vazão e irradiância.

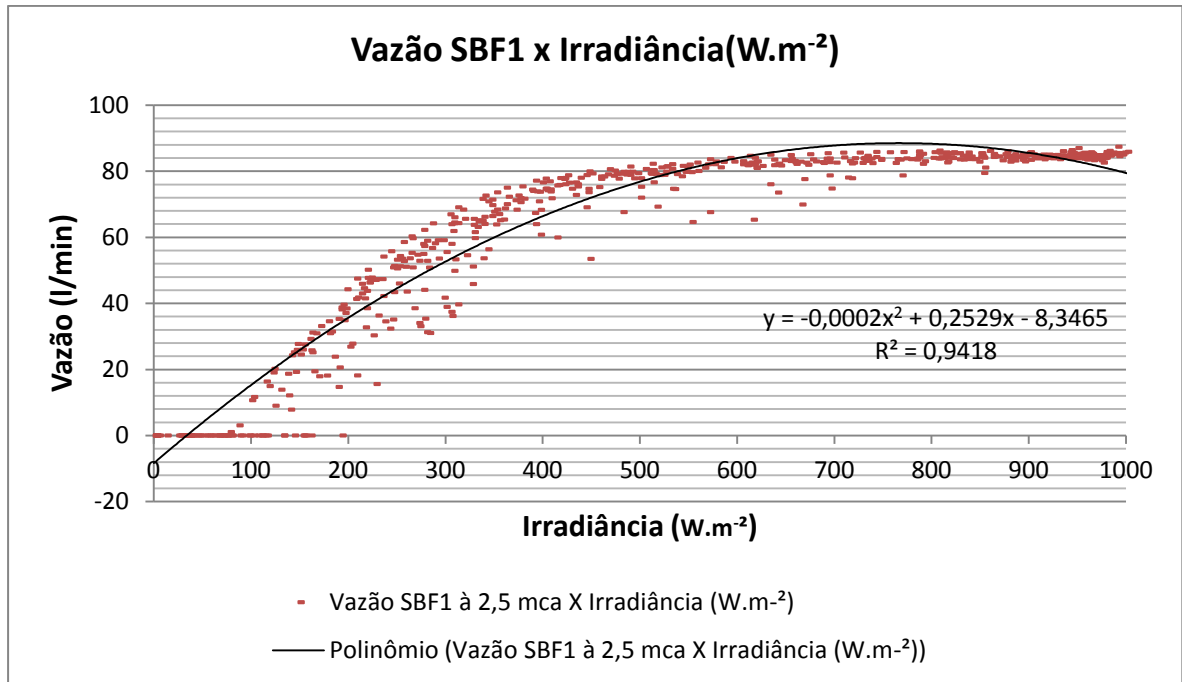


Figura 32-Vazão SBF1 e irradiância (W.m⁻²) para 2,5 mca

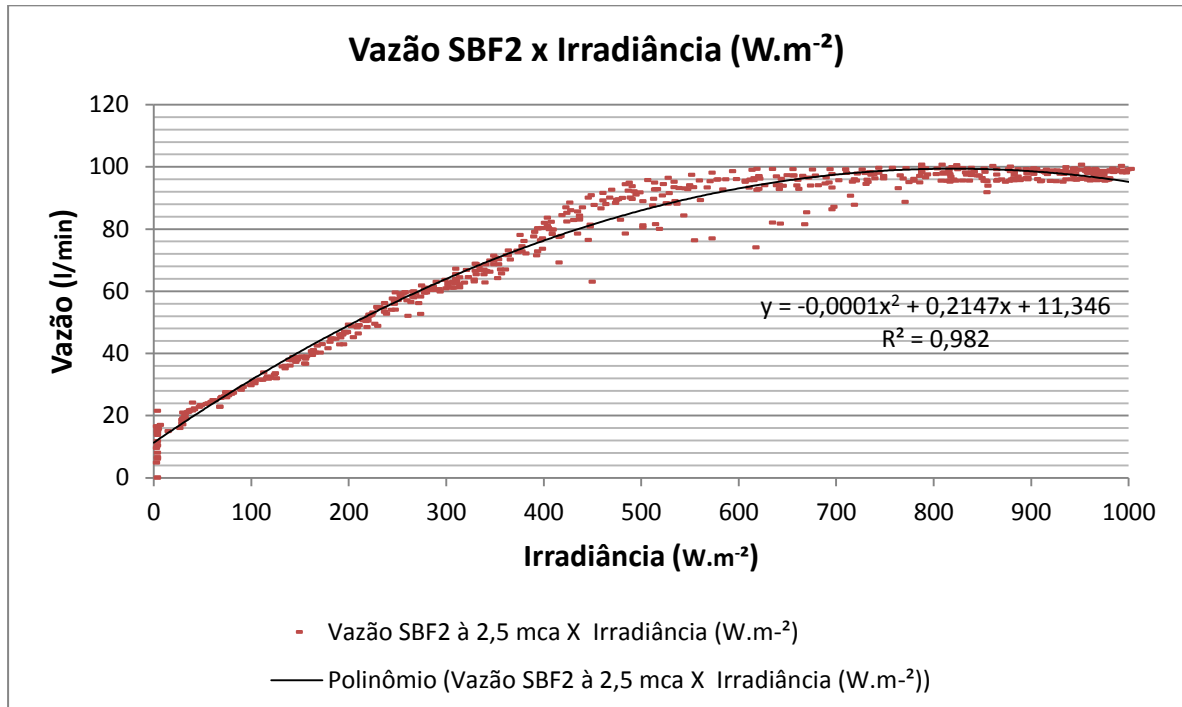


Figura 33- Vazão SBF2 e irradiância (W.m⁻²) para 2,5 mca

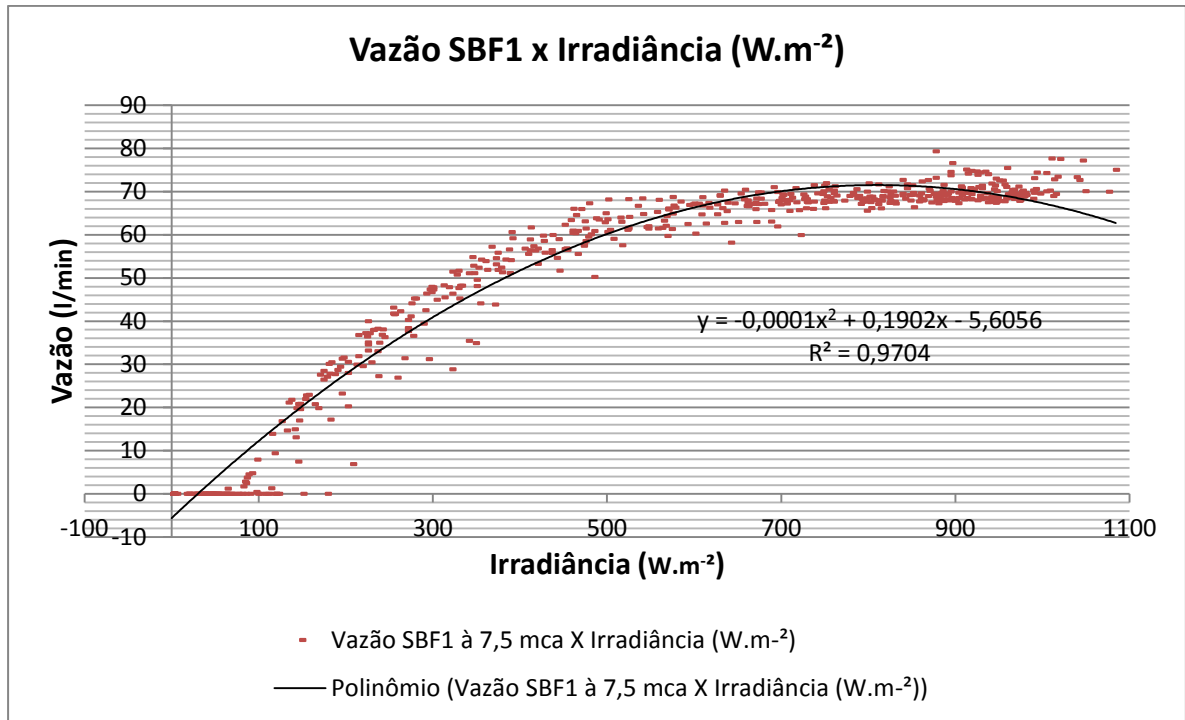


Figura 34- Vazão SBF1 e irradiância (W.m⁻²) para 7,5 mca

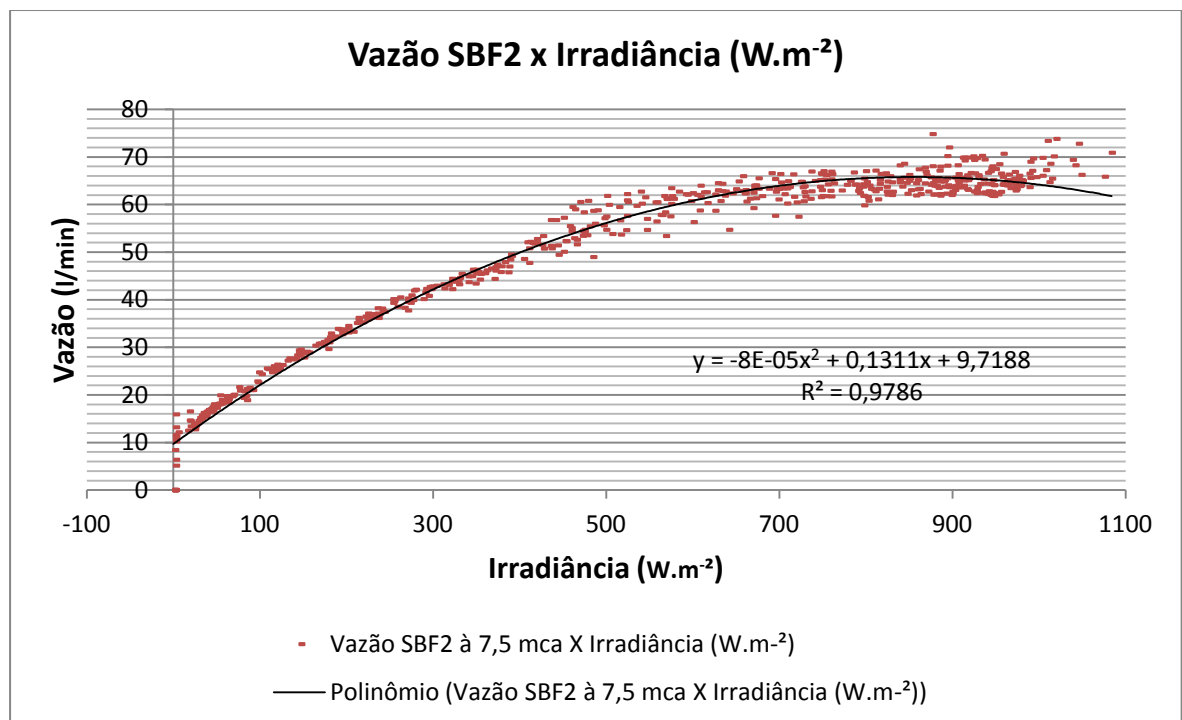


Figura 35- Vazão SBF2 e irradiância (W.m⁻²) para 7,5 mca

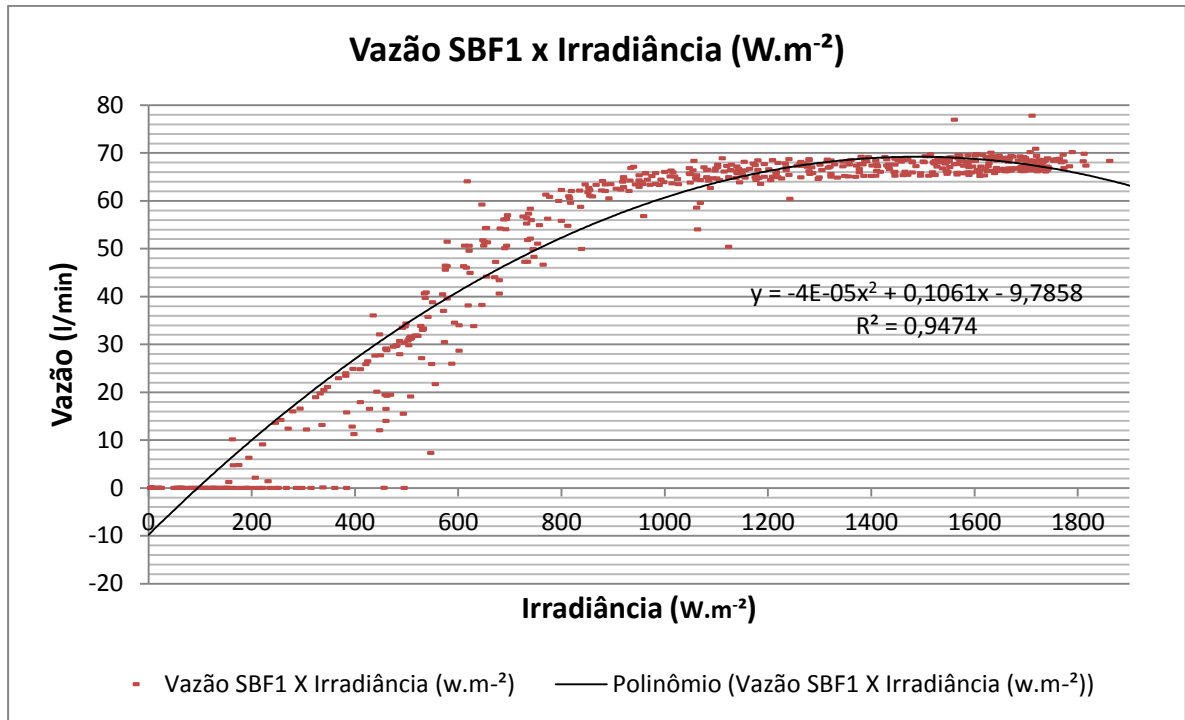


Figura 36- Vazão SBF1 e irradiância (W.m⁻²) para 13,5 mca

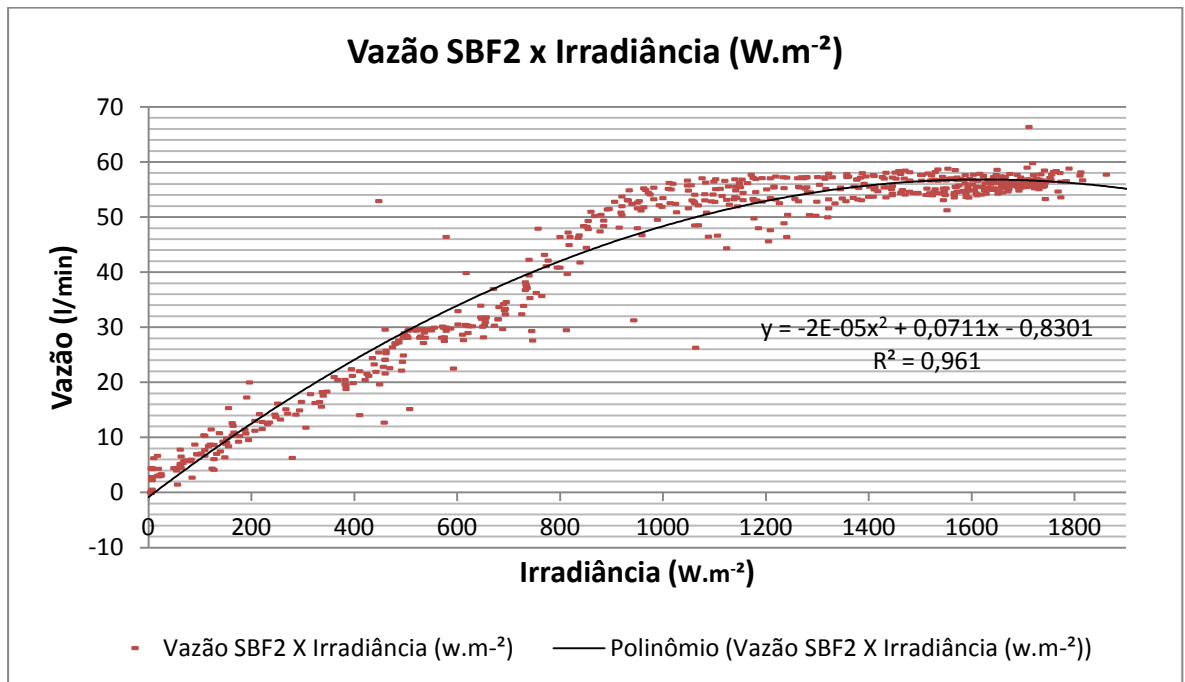


Figura 37- Vazão SBF2 e irradiância (W.m⁻²) para 13,5 mca

Como é observado por Moreira (2009), a tendência polinomial é válida para valores de irradiância solar entre 0 e 900 W.m⁻². A partir desse valor a tendência da curva é manter-se horizontal e constante.

Para os três casos pode-se observar uma tendência polinomial dos dados sendo esta mais forte no sistema SBF2; isso se deve ao *driver* que alimenta a motobomba que é dotado de um sistema seguidor de potência, que o faz responder melhor em relação ao sistema SBF1 em baixos índices de irradiância. Essa curva polinomial é a relação existente entre irradiância ($W.m^{-2}$) e vazão l/min e tem seu coeficiente R^2 próximo de 1,00.

4.2 Vazão em função da potência consumida

Esta relação avaliou o comportamento da vazão de água bombeada em função da potência consumida (PC) pelos sistemas SBF1 e SBF2.

A Figura 38 apresenta a relação vazão SBF1 e SBF2 em função da potência consumida pelas bombas (PC) do dia 8 ao dia 12 de junho e como exemplo foi escolhido o dia 8 de junho (Figura 39) para representar um dia de bombeamento para uma pressão de 2,5 mca.

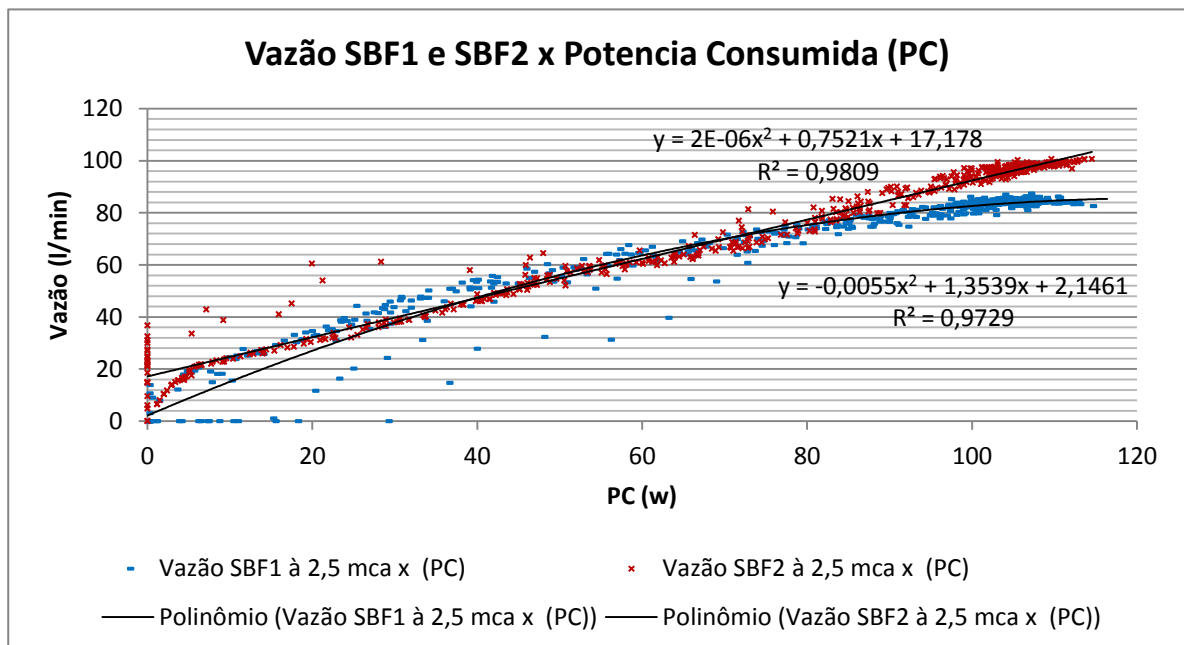


Figura 38-Vazão SBF1 e SBF2 x potência consumida (PC) no período 8 a 12 de Junho 2014.

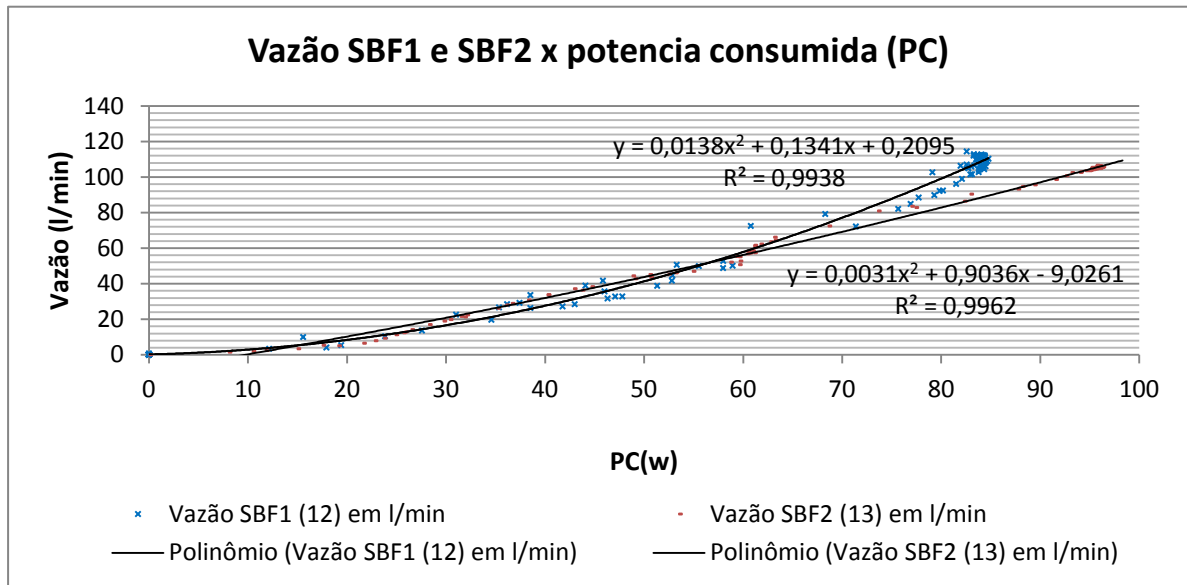


Figura 39-Vazão SBF1 e SBF2 x potência consumida (PC) no dia 8 de Junho 2014.

As Figuras 38 e 39 apresentam os dados onde se observa uma forte relação entre a vazão e a energia consumida para ambos os sistemas de bombeamento na pressão de 2,5 mca, pois se obtém valores R^2 próximos ao seu valor máximo 1,00.

A Figura 40 mostra a curva vazão SBF1 e SBF2 no decorrer do dia 8 de junho em função da Irradiância disponível.

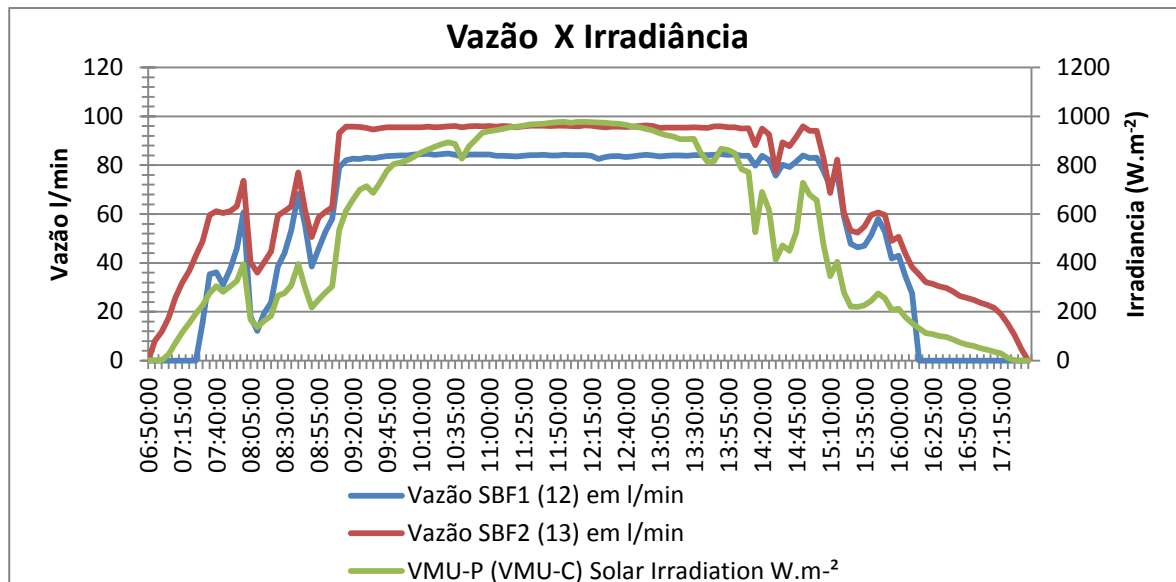


Figura 40-Vazão SBF1 e SBF2 x Irradiância no dia 8 de Junho 2014.

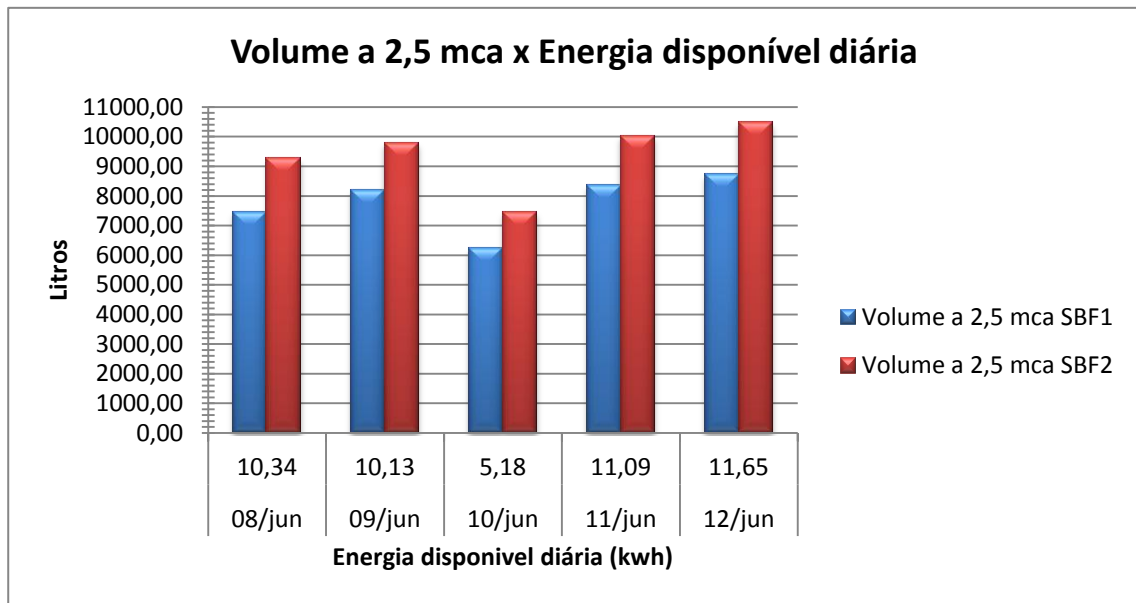


Figura 41- Volume x Energia disponível diária a pressão de 2,5 mca

Pode-se observar na Figura 40, que o sistema SBF2 bombeou maior vazão de água em relação ao sistema SBF1 para um mesmo valor de irradiância ao longo do dia. Esse comportamento se repetiu para todos os dias analisados motivo pelo qual não foram apresentados os gráficos diários desse período. Essa relação pode ser confirmada na Figura 41 que apresenta os dados de volume em relação à energia disponível no período de 8 a 12 de Junho. Nessa pressão manométrica o sistema SBF2 bombeou uma média de 17,08% a mais que SBF1.

A Figura 42 mostra a relação vazão SBF1 e SBF2 em função da potência consumida (PC) do dia 19 ao dia 23 de junho.

A Figura 43 apresenta o comportamento do bombeamento de água no dia 21 de Junho a uma pressão manométrica de 7,5 mca.

Analisando os dados nas Figuras 42 e 43 observa-se uma forte relação entre a vazão e potência consumida para ambos os sistemas de bombeamento; como no caso anterior os valores R^2 estão próximos de 1,00.

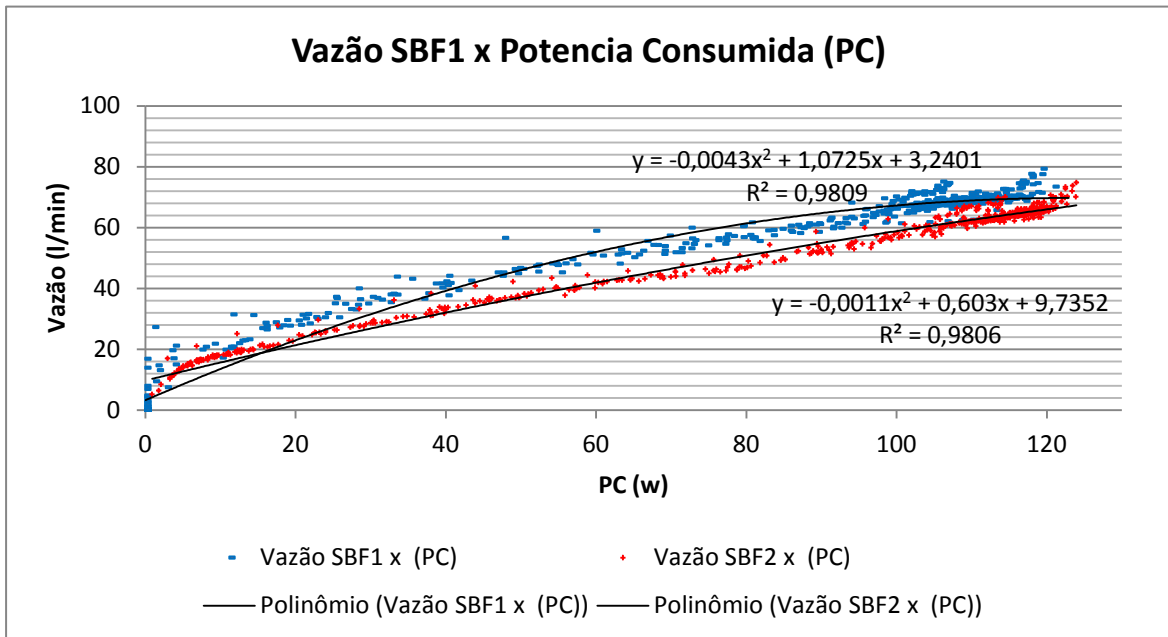


Figura 42-Vazão SBF1 x Potencia Consumida (PC) no período de 19 a 23 de Junho de 2014.

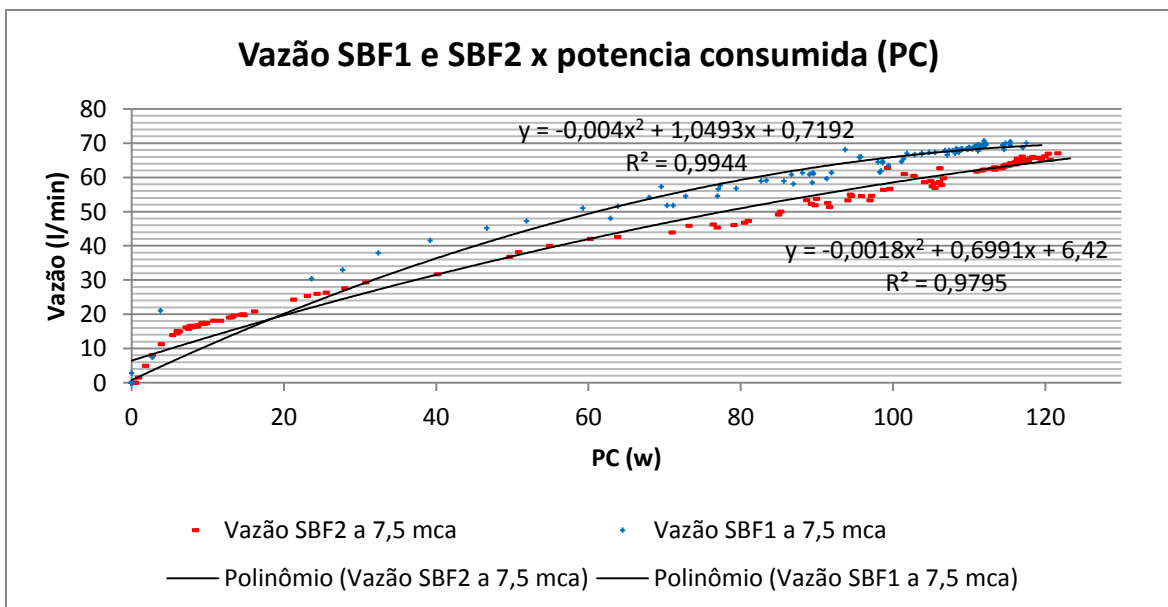


Figura 43- Vazão SBF1 e SBF2 x potência consumida (PC) no dia 21 de Junho de 2014

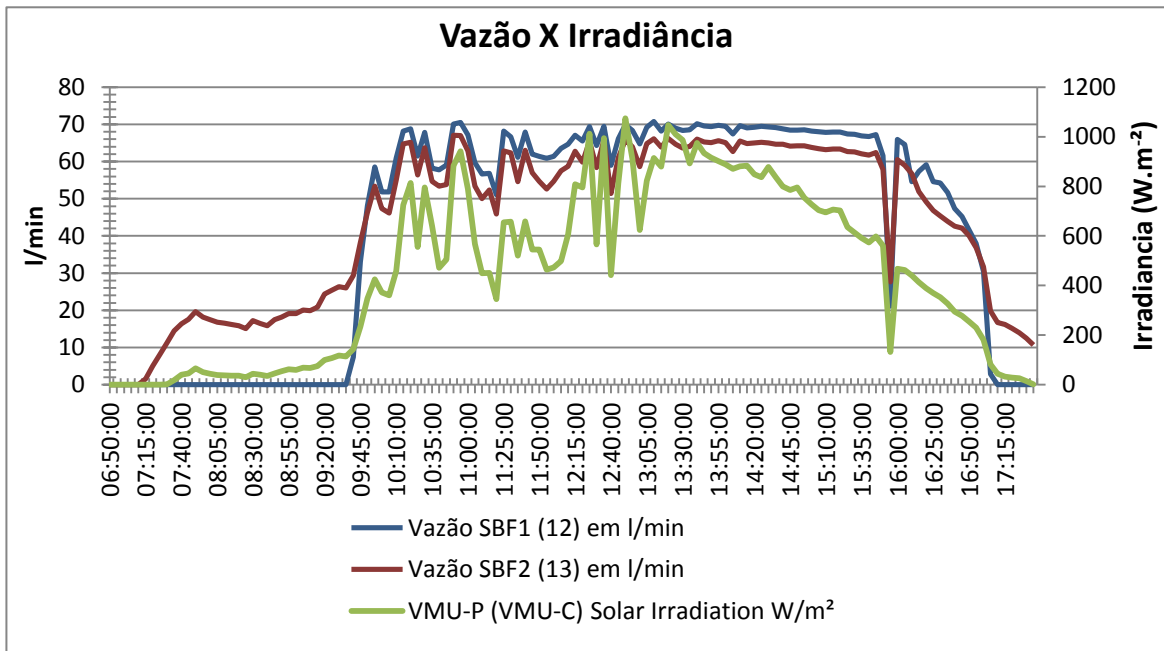


Figura 44- Vazão SBF1 e SBF2 x Irradiância disponível no dia 21 de Junho 2014.

As figuras 44 e 45 mostram as curvas vazão SBF1 e SBF2 no decorrer dos dias 19 e 21 de Junho em função da irradiância disponível.

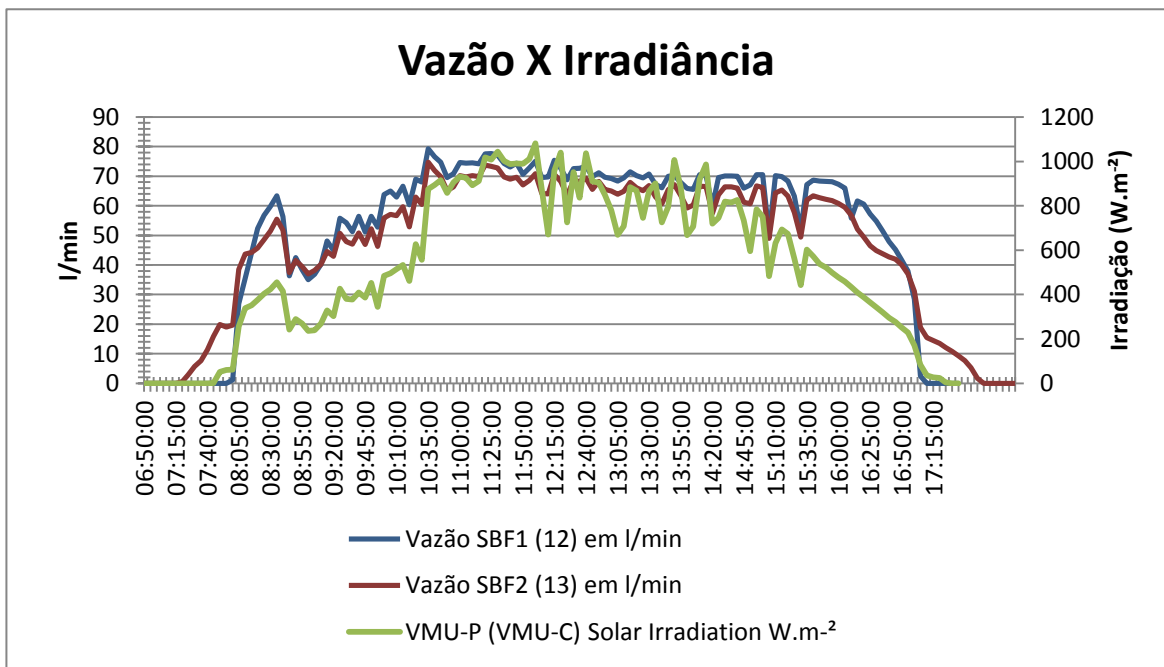


Figura 45- Vazão SBF1 e SBF2 x irradiância disponível no dia 19 de Junho 2014.

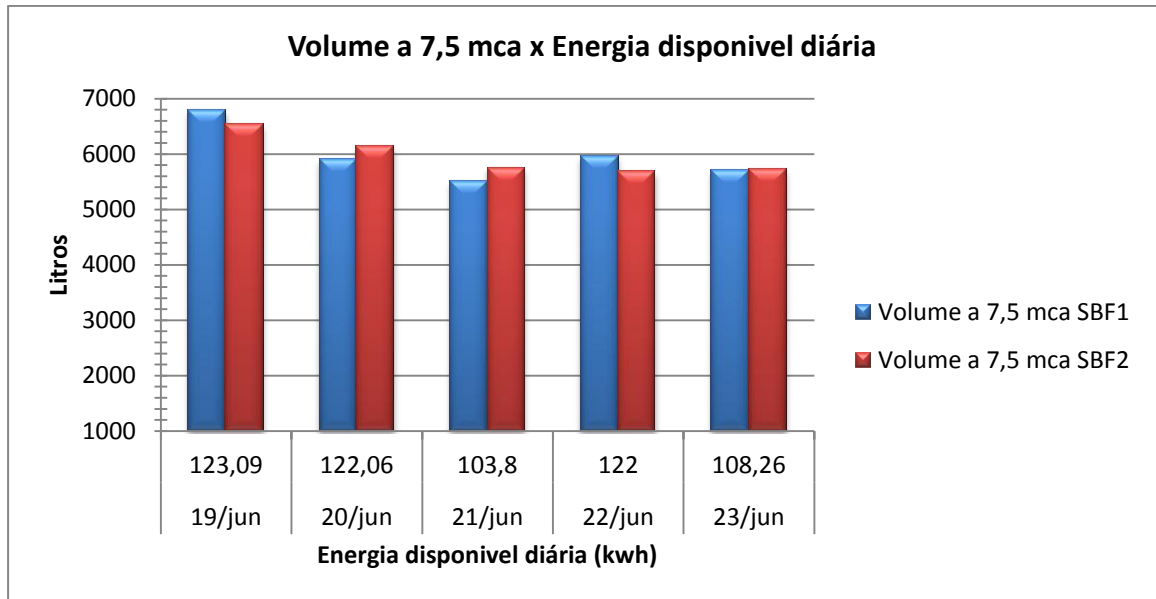


Figura 46-Volume x Energia disponível diária a pressão de 7,5 mca

O sistema SBF2 bombeou maior volume que SBF1 somente nos períodos de baixa irradiação solar nesse caso valores abaixo de 400 W.m^{-2} . Para os períodos de alta radiação solar, ou seja, valores de irradiação acima de 400 W.m^{-2} o sistema SBF1 ultrapassa o valor de vazão em relação ao sistema SBF2 em 6,27% conforme cálculos baseados nos dados mostrados nas Figura 44 e 45, no entanto isso não condiciona o sistema SBF1 a bombear um maior volume da água.

O dia 21 de Junho apresenta os dados de resposta de SBF2 em valores de baixa incidência de irradiação solar; essa baixa incidência fez que o tempo de SBF2 realizando trabalho útil fosse maior do que o tempo de trabalho útil do sistema SBF1. Essa ocorrência se deu por fatores climáticos que não permitiram uma grande incidência solar no início da manhã como se pode verificar na linha VMU-p que refere aos valores leitura do índice de irradiação solar incidente no plano dos painéis fotovoltaicos.

O sistema SBF1 inicia o trabalho apenas com valores de irradiação acima de 240 W.m^{-2} apresentando um comportamento inercial do bombeamento como é comprovado nas Figura 44 e 45.

Esse comportamento é recorrente para todos os dias analisados em que SBF2 bombeia mais água que SBF1, motivo pelo qual não foram aqui apresentados os gráficos diários desse período. Exceto, porém, no gráfico da

Figura 45 referente ao dia 19 que apresenta dados de aumento instantâneo da energia solar disponível por volta das 8 horas da manhã, nesse dia o céu estava descoberto, isso fez com que a bomba do sistema SBF1 iniciasse o seu ciclo de trabalho mais cedo tendo assim um volume de 254 litros a mais para SBF1 apresentando uma diferença de 6788,36 litros bombeados para 6533,62 litros do sistema SBF2, ou seja, 3,73% a mais bombeados por SBF1 para o mesmo período de irradiação; esse comportamento pode ser confirmado na Figura 46 que apresenta o volume diário bombeado em relação à potência disponível no período.

A Figura 47 mostra a relação vazão SBF1 e SBF2 em função da potência consumida pelas bombas (PC) do dia 13 ao dia 17 de junho e como exemplo foi escolhido o dia 14 de junho que é apresentado na Figura 49.

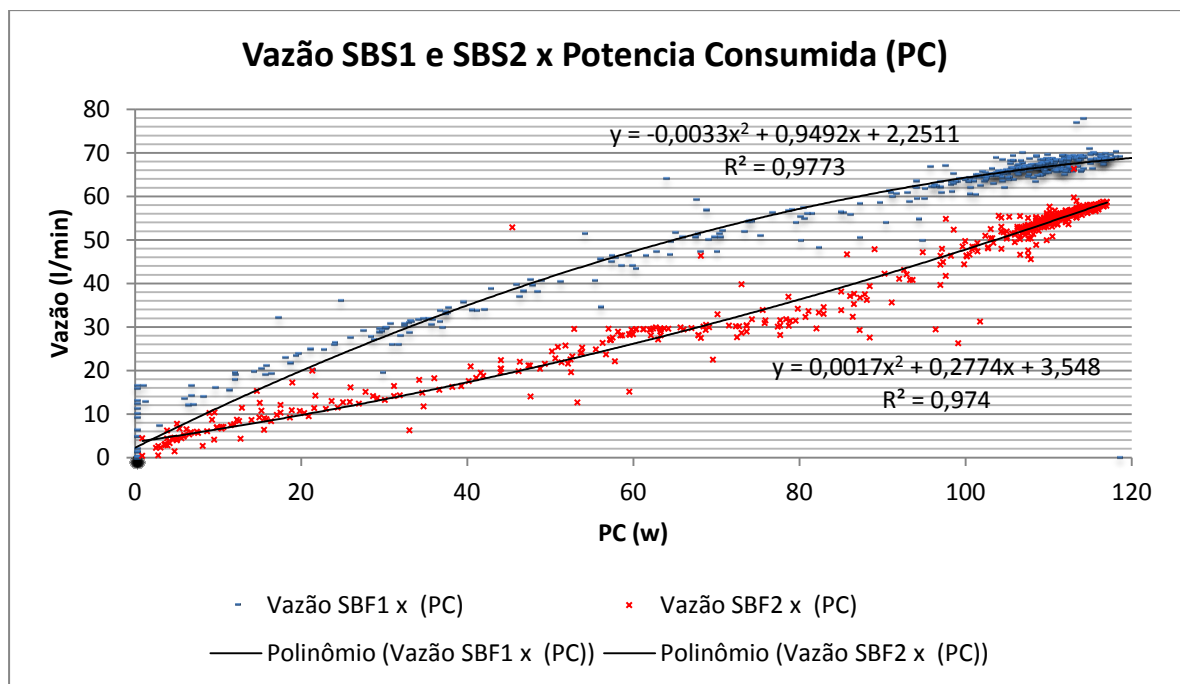


Figura 47- Vazão SBF1 e SBF2 x potência consumida (PC) no período 13 a 17 de Junho 2014.

Nas Figura 47 e 48, pode-se observar uma forte relação entre a vazão e a energia consumida para ambos os sistemas de bombeamento na pressão de 13,5 mca, pois se obtém valores R^2 próximos de 1,00 que é seu valor máximo.

As Figuras 48 e 49 mostram a curva vazão SBF1 e SBF2 no decorrer do dia 14 de junho em função da irradiância disponível.

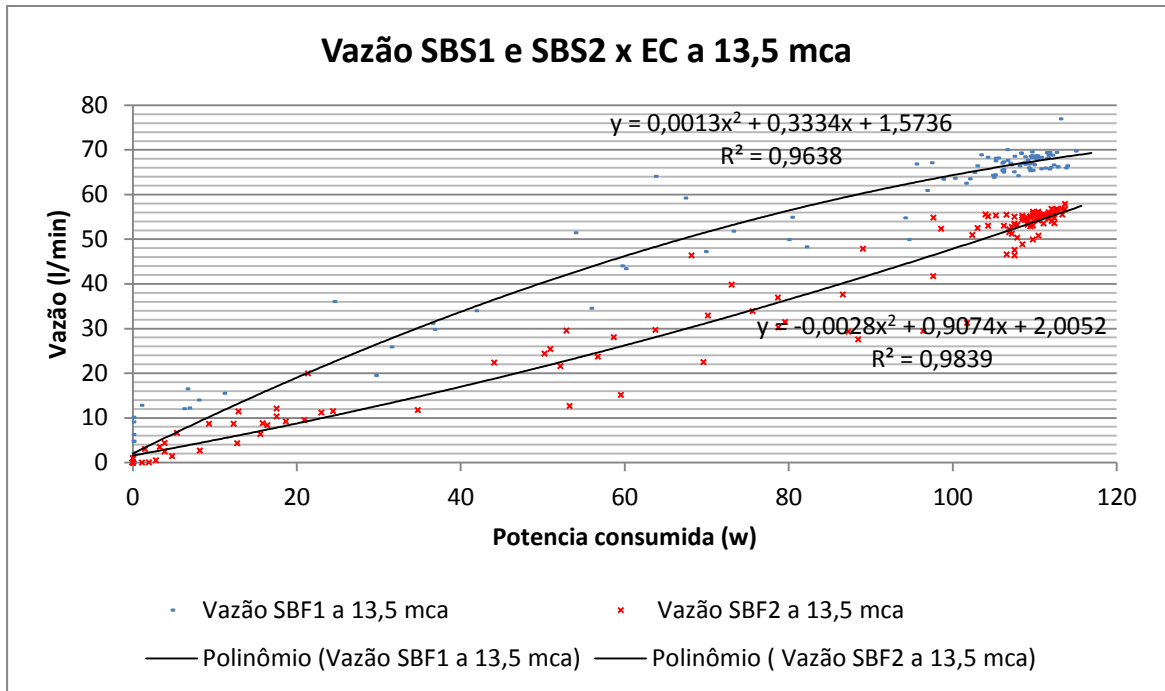


Figura 48- Vazão SBF1 e SBF2 x potência consumida (PC) no dia 14 de Junho 2014.

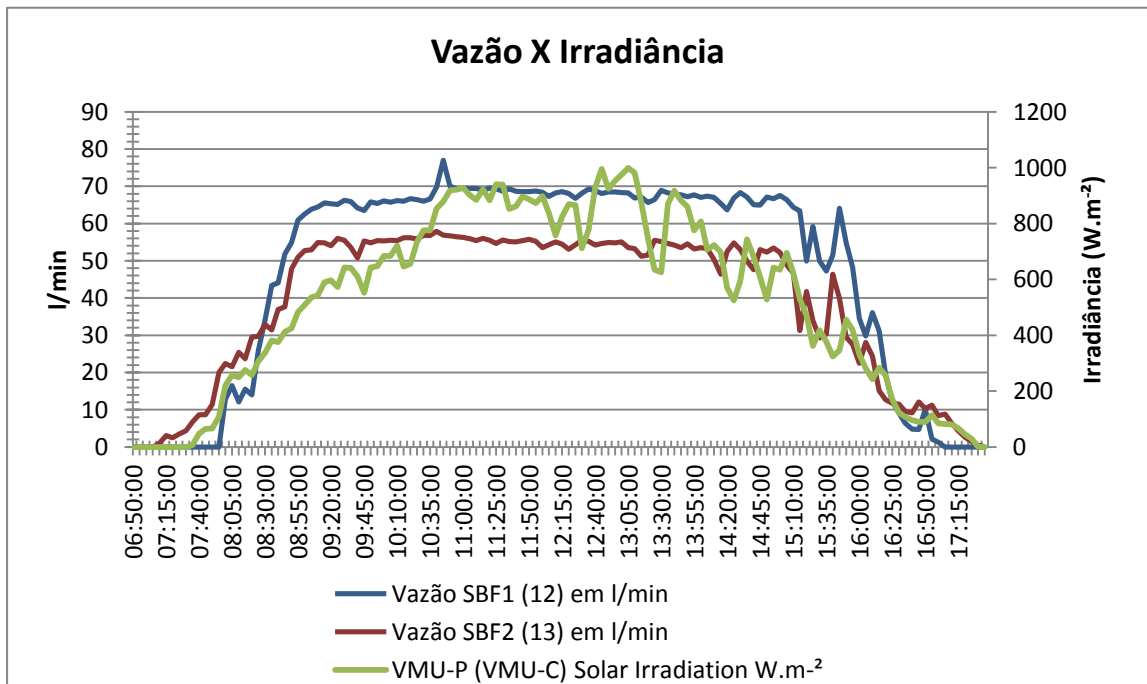


Figura 49- Vazão SBF1 e SBF2 x irradiância disponível no dia 14 de Junho 2014.

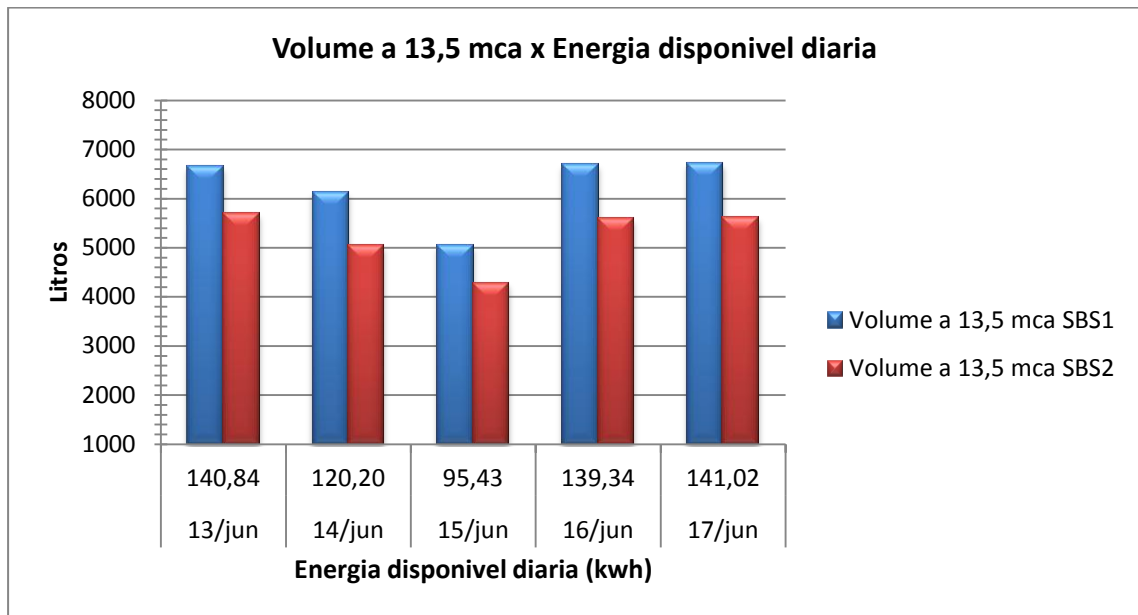


Figura 50- Volume x Energia disponível diária a pressão de 13,5 mca.

A Figura 49 apresenta os dados de vazão em função da irradiância onde o sistema SBF1 bombeou 17,66% a mais do volume de água em relação ao sistema SBF2 para um mesmo valor de irradiância ao longo do dia 14 de Junho.

O comportamento dos sistemas SBF1 e SBF2 quando referentes a baixos níveis de irradiância se assemelha a o que foi observado em altura manométrica de 7,5 mca. Porém, com valores de irradiância acima de 400 W.m^{-2} o sistema SBF1 começa a bombear mais litros por minuto que o SBF2. Com o nível de irradiância próximo de 600 W.m^{-2} o sistema SBF1 se estabiliza bombando 18,83% a mais que SBF2; esse comportamento da inicio as 8:20h e termina as 15:50h quando os níveis de irradiância ficam abaixo de 400 W.m^{-2} onde a bomba do sistema SBF1 já não consegue sustentar uma maior vazão devido a baixa energia disponível para seu sistema. O comportamento inercial da bomba de SBF1 se da até valores próximos de 250 W.m^{-2} sendo que abaixo desse valor trabalho algum é realizado.

Esse comportamento se repete para todos os dias analisados motivo pelo qual não foram aqui apresentados os gráficos diários desse período. Essa relação pode ser confirmada na Figura 50 onde vemos o comportamento do volume em relação à energia disponível no período.

O volume médio de água bombeado no período do experimento pelos dois sistemas propostos variou entre 5244,21 litros a 9398,29 litros para o sistema SBF2 e 6249,27 litros a 7792,93 litros para o SBF1, sendo que ambos bombearam água suficiente para atender as necessidades básicas de uma pequena propriedade rural. A altura manométrica média de 7,5 mca e a altura máxima de 13,5 mca é capaz de distribuir a água que foi bombeada ao reservatório superior pelo uso da força potencial gravitacional evitando assim o uso de eletricidade para aplicação e uso específico da água, seja irrigando, abastecendo um bebedouro de animais, ou mesmo abastecendo uma residência.

4.3 Potência disponível e Potência consumida

As Figuras 51, 52 e 53 apresentam os valores de potência disponível (PD) e potência consumida (PC) ao longo do período de realização do experimento dos sistemas SBF1 e SBF2 nas pressões 2,5 mca, 7,5 mca e 13,5 mca respectivamente.

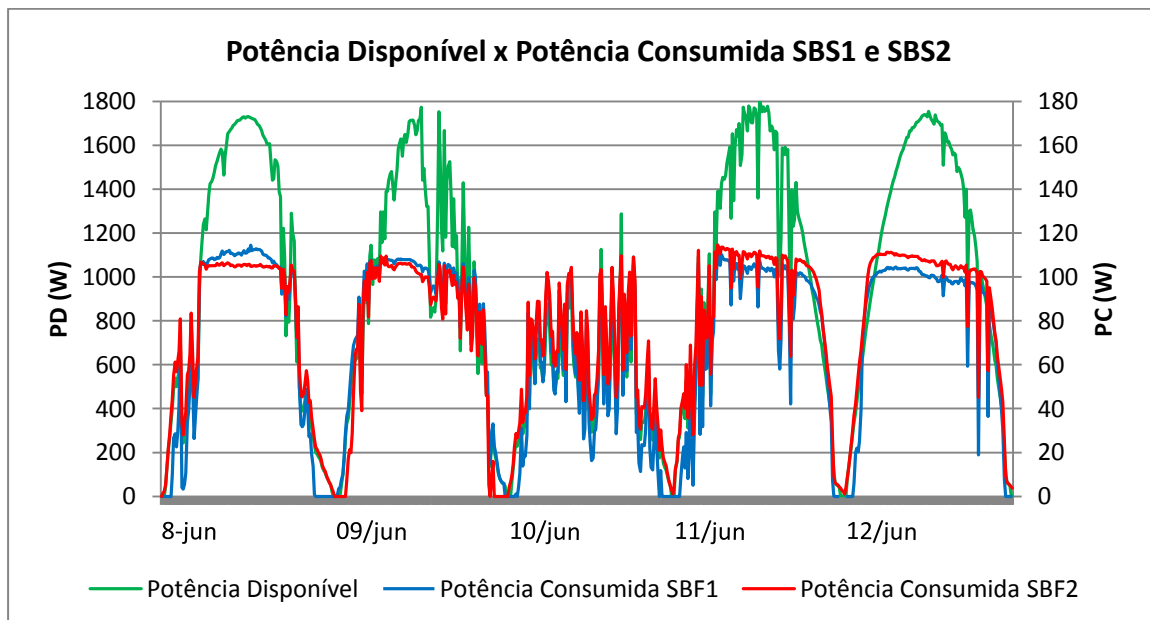


Figura 51-Potência disponível e potência consumida SBF1 e SBF2 ao longo do período em 2,5 mca.

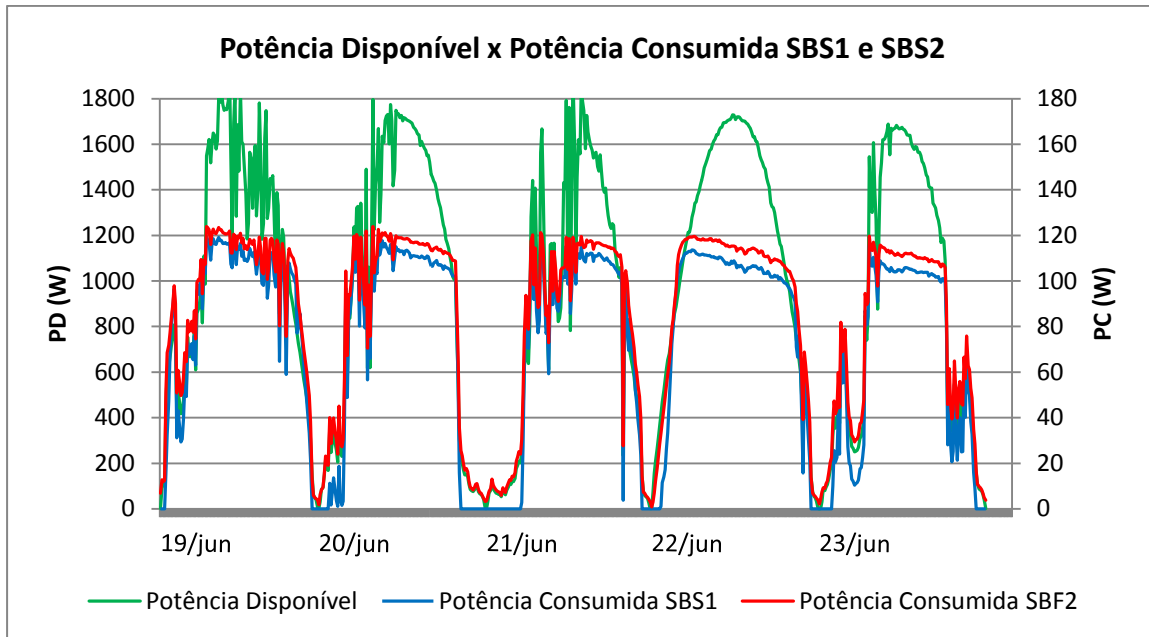


Figura 52- Potência disponível e potência consumida SBF1 e SBF2 ao longo do período em 7,5 mca.

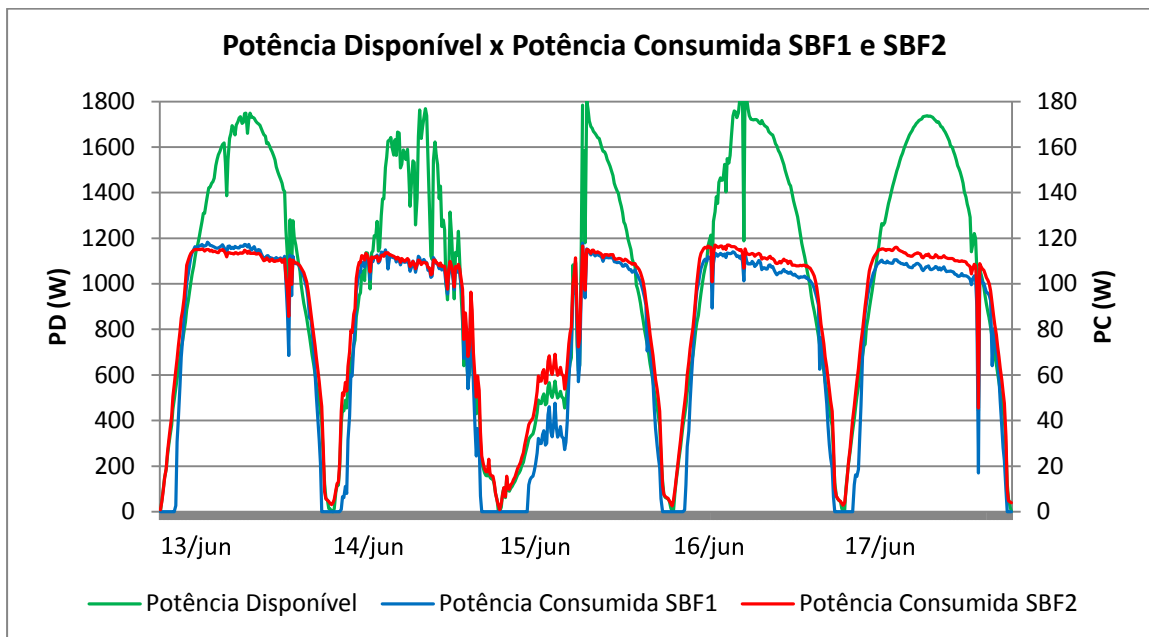


Figura 53- Potência disponível e potência consumida SBF1 e SBF2 ao longo do período em 13,5 mca.

Observam-se para os dois sistemas de bombeamento e nas três pressões propostas no trabalho, que a potência disponível vai aumentando gradativamente a partir do início da manhã até seu pico, e depois volta a decrescer no final da tarde.

Considerando que a potência disponível é fornecida pela irradiação solar sobre a área útil dos painéis, as variações que ocorrem foram em função da irradiação solar, visto que a área dos painéis se manteve constante. Esse comportamento foi observado por Niedzialkoski (2013), em testes de módulos solares que alimentavam motobombas de forma direta.

A potência consumida (PC) apresentou comportamento semelhante ao da potência disponível (PD). Apenas parte da potência disponível foi convertida em trabalho útil, ou seja, foi transformada pela motobomba em trabalho de bombeamento. Com base nesses valores é possível obter a eficiência dos painéis fotovoltaicos.

As Figuras 54 a 59 apresentam os dados de potência consumidos por SBF1 e SBF2 pela potência disponível durante todo o período de funcionamento em 2,5 mca, 7,5 mca e 13,5 mca respectivamente.

O objetivo desta análise é apresentar o valor do coeficiente R^2 e observar a tendência polinomial entre os valores de potência consumida (PC) e potência disponível (PD)

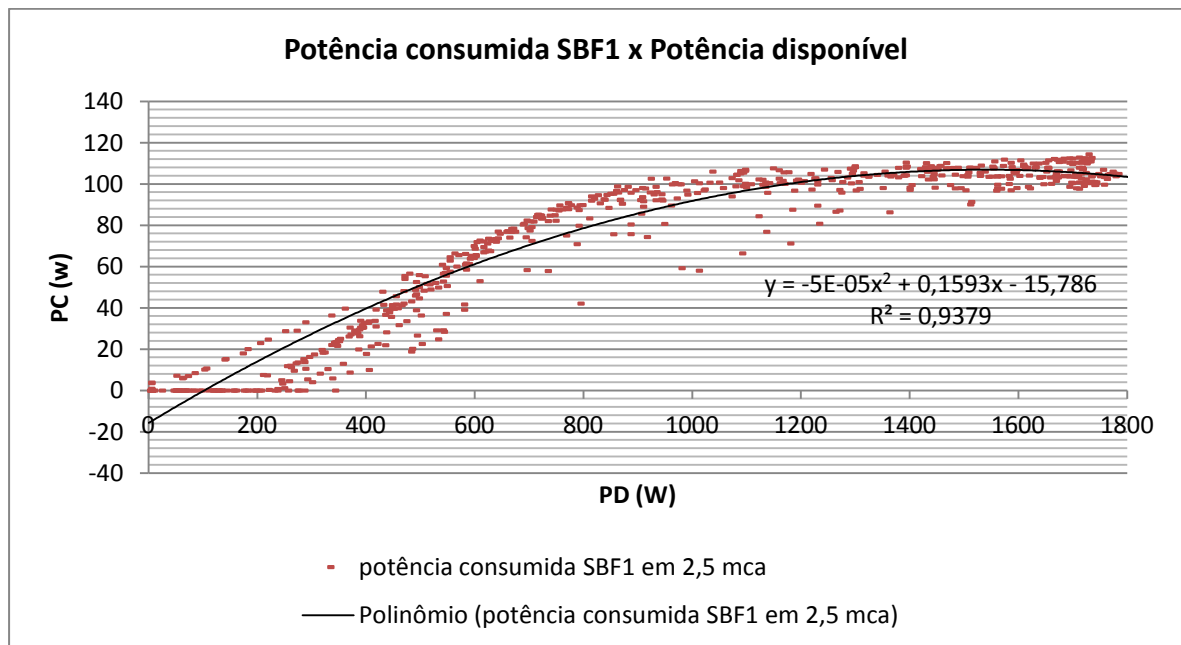


Figura 54-Potência disponível x potência consumida SBF1 em 2,5 mca.

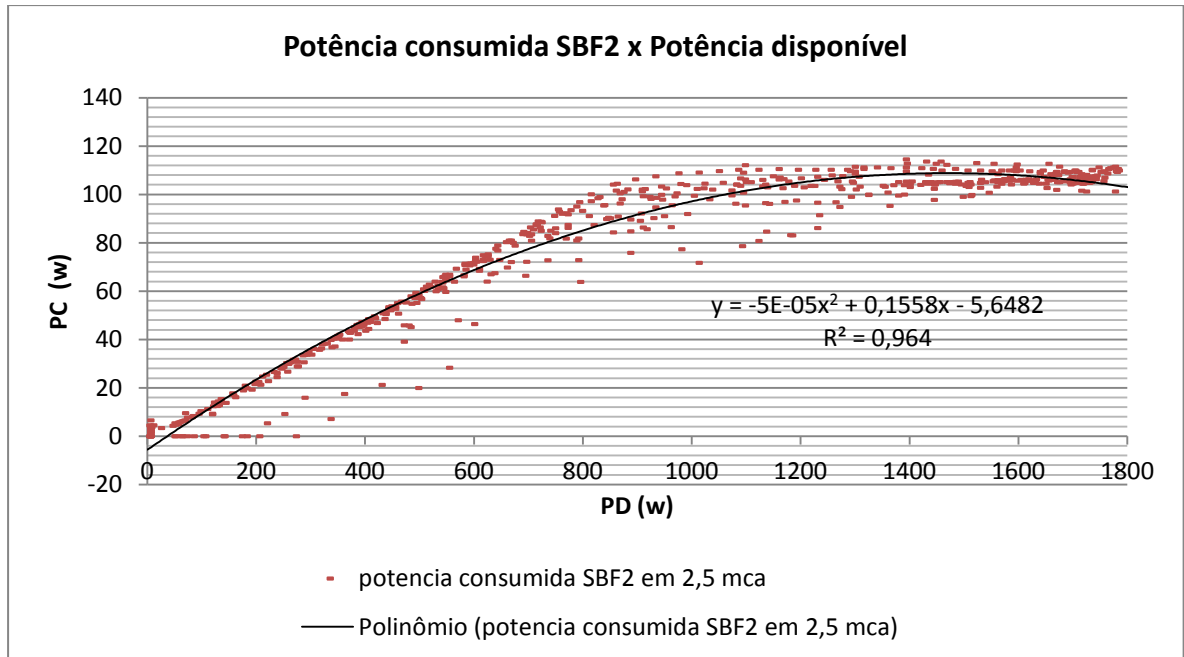


Figura 55- Potência disponível x potência consumida SBF2 em 2,5 mca.

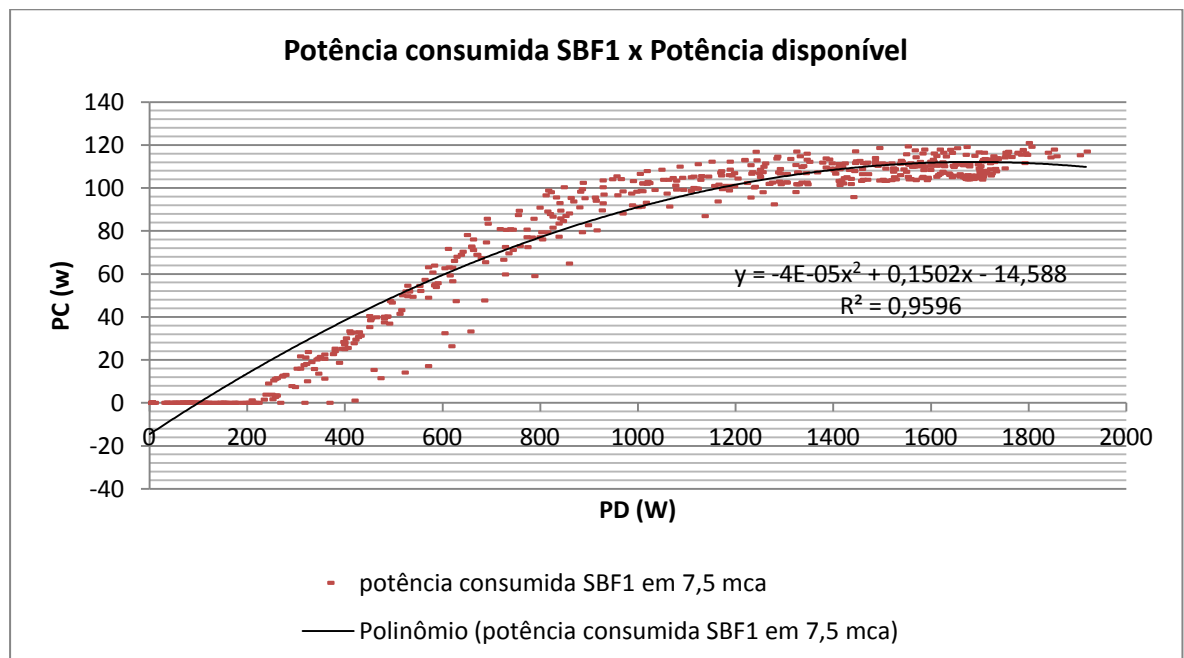


Figura 56- Potência disponível x potência consumida SBF1 em 7,5 mca.

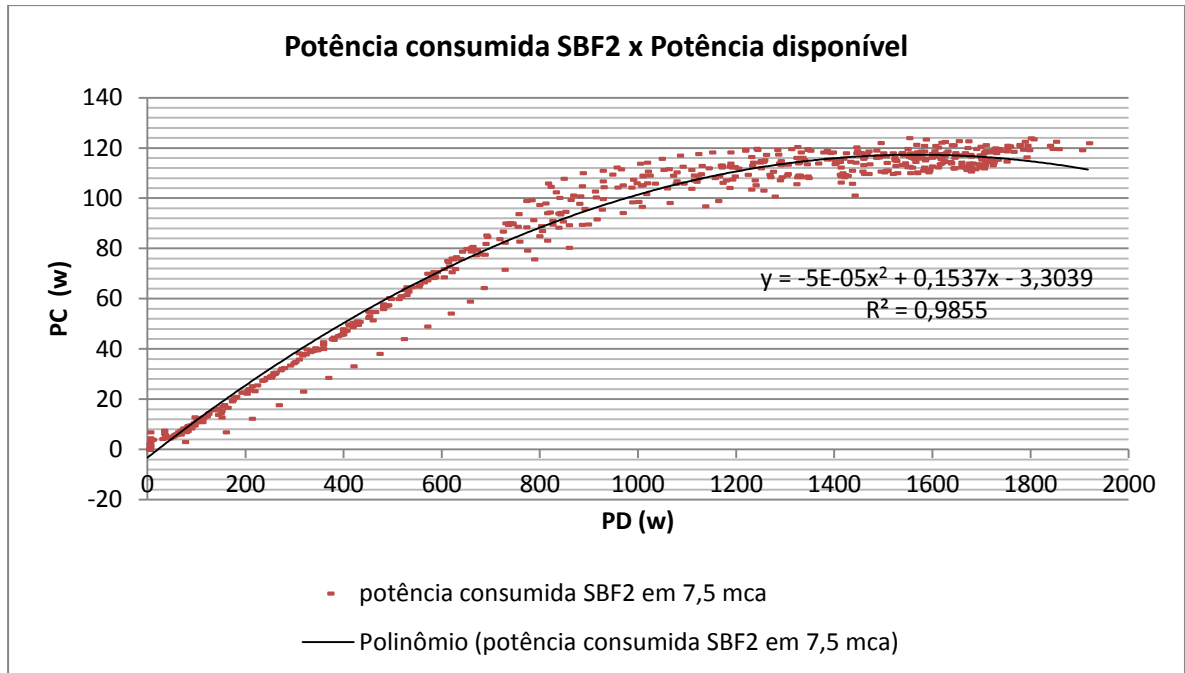


Figura 57- Potência disponível x potência consumida SBF2 em 7,5 mca.

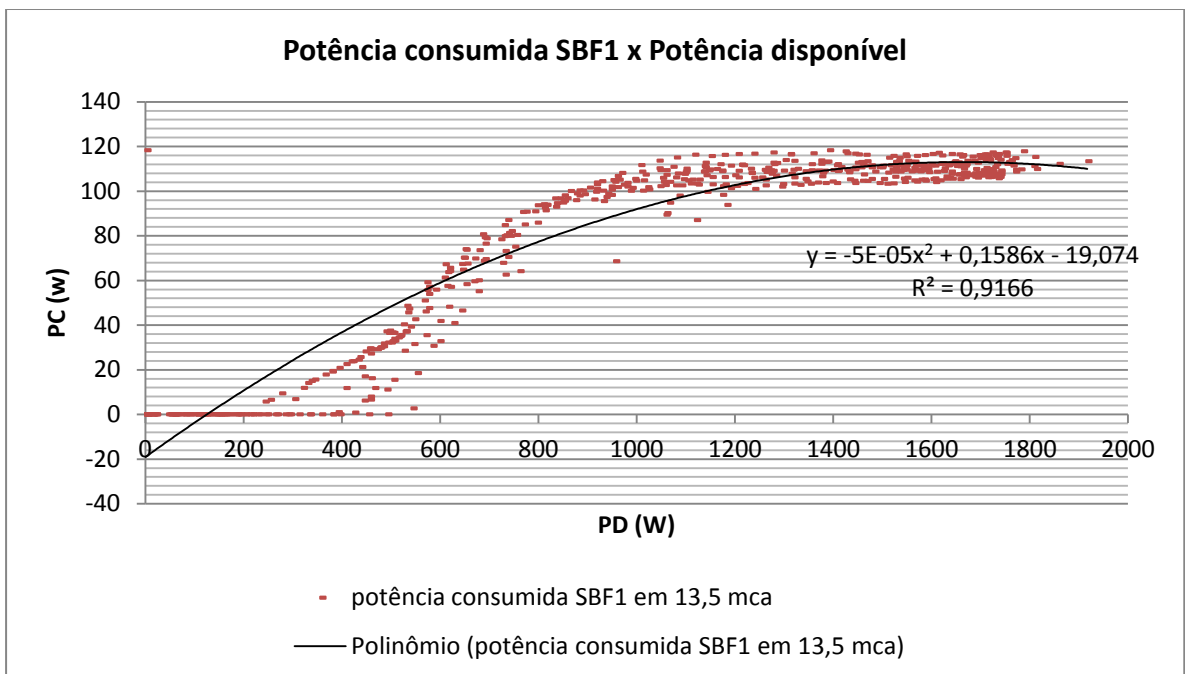


Figura 58- Energia Potência disponível x potência consumida SBF1 em 13,5 mca.

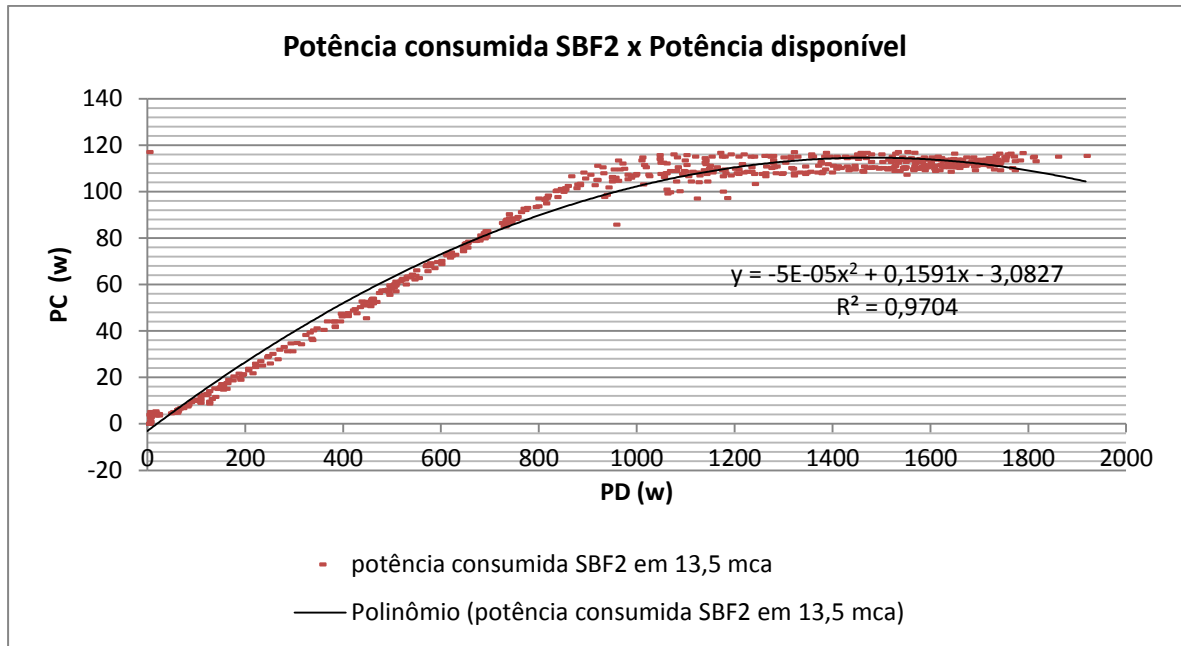


Figura 59-Energia disponível x energia consumida SBF2 em 13,5 mca.

O sistema SBF1 e o SBF2 são alimentados de forma direta com painéis policristalinos. A tendência polinomial observada para cada situação proposta é válida para valores de 0 a 1000 W.m⁻², isso é devido ao tipo de painel utilizado, conforme observou Niedzialkoski (2013) quando obteve o rendimento e a relação polinomial de painéis policristalino em seu experimento. Os valores de R² apresentados nas regressões indica uma forte correlação entre as grandezas apresentadas.

4.4 Eficiências dos sistemas

Os valores de eficiência média dos painéis, motobomba e global em cada período para cada altura manométrica proposta estão representado nos Quadro 1, Quadro 2 e Quadro 3 respectivamente.

Quadro 1- Eficiência media dos painéis

Pressão manométrica	2,5 mca	7,5 mca	13,5 mca
Eficiência media painel SBF1	7,76 %	7,58 %	7,64 %
Eficiência media painel SBF2	8,75 %	8,55 %	8,50 %

Segundo Gnoatto (2003) a eficiência máxima observada em experimento com painéis policristalinos foi de 9,46%, e o ponto de eficiência mínima 6,03%; com base na análise diária observou o comportamento da frequência de ocorrências em relação à eficiência média diária, sendo que 81,9 % das ocorrências registraram valores entre 8,6% e 9,2% de eficiência, 4,6% entre 9,2 e 9,46% e os demais ficaram entre 6,0% e 8,6% de eficiência. A eficiência dos painéis fotovoltaicos foi de 7,64 a 7,76% para SBF1 e 8,50 a 8,75 para SBF2, essa diferença é decorrente da utilização do sistema seguidor de ponto máximo de potência do *driver* de controle da motobomba SBF2, esse dispositivo permite explorar o melhor ponto de potência dentro das variações de níveis de tensão e corrente ao longo do dia.

Os resultados de eficiência dos módulos fotovoltaicos do presente trabalho estão de acordo com os dados apresentados por Gnoatto (2003).

Quadro 2- Eficiência média motobomba

Pressão manométrica	2,5 mca	7,5 mca	13,5 mca
Eficiência media motobomba SBF1	6,35 %	15,97 %	24,42 %
Eficiência media motobomba SBF2	6,91 %	17,11 %	16,55 %

Como observado por Kolling (2004) a vazão de um sistema fotovoltaico de bombeamento diretamente acoplado depende, basicamente, do nível de irradiância solar e da carga de bombeamento (altura manométrica), ou seja, a vazão é função da irradiância e da altura manométrica (carga).

O fator decisivo para os valores de rendimento das motobombas foi o valor de vazão em função das perdas de carga em (mca) do sistema. Segundo Kolling (2004) em menores alturas manométricas, se obtêm maiores vazões, porém essa condição não representa a maior eficiência do conjunto. O sistema é mais eficiente quando submetido a cargas mais elevadas, visto que sua eficiência é função da potência hidráulica que aumenta de forma proporcional ao aumento da carga (altura manométrica).

Kolling (2004) em seu trabalho observou que o aumento da eficiência global com a irradiância é crescente (até 600 W.m⁻²) e depois decrescente. Isso se explica pelo fato de que a potência hidráulica é limitada e a irradiância solar disponível não; assim haverá um determinado ponto em que esse limite ocorre para um potencial de irradiância solar maior, ocasionando a diminuição da eficiência global. Essa relação foi constatada na análise de eficiência das motobombas e foi nesse caso a principal responsável pelos valores de eficiência globais verificados.

A eficiência global depende da eficiência dos painéis e da eficiência das motobombas; a eficiência dos painéis pouco variou entre os três períodos; a eficiência global ficou em função dos valores de eficiência das motobombas.

Quadro 3- Eficiência média global

Pressão manométrica	2,5 mca	7,5 mca	13,5 mca
Eficiência global media SBF1	0,50 %	1,20 %	1,85 %
Eficiência global media SBF2	0,61 %	1,47 %	1,40 %

4.5 Índice de bombeamento e índice de consumo

Durante o funcionamento dos sistemas SBF1 e SBF2 foi registrado o volume total bombeado por cada sistema. O desempenho prático de cada sistema é verificado em função do (IB) índice de bombeamento em l/Kwh; e do (IC) índice de consumo em kWh/l, esses dados estão apresentados no Quadro 4.

Baseado nesses índices observa-se que nas condições desse experimento o valor mínimo da pressão da linha de recalque, ou seja, 2,5mca; tem-se maior um desempenho do sistema SBF2. Para o valor de pressão máxima 13,5 mca aplicado no teste; tem-se um maior desempenho com o sistema SBF1 e finalmente para a pressão média 7,5 mca tem-se um desempenho bem distribuído entre os dois sistemas onde apresentam uma pequena diferença no volume de água por kWh.

O índice de consumo (IC), apresenta o consumo pratico em Kwh/l de água bombeados, esse valor é que determinante no índice de eficiência global, uma motobomba ideal seria a que elevasse o maior volume de água a maior altura manométrica e que consumisse o mínimo de energia necessário pra realização dessa tarefa. Em cada altura manométrica testada foi observado que o sistema SBF2 apresenta o melhor IC em 2,5 mca, o SBF1 apresenta seu melhor IC em 13,5 mca, por fim, em 7,5 mca o IC de SBF1 supera o IC de SBF2 em 11%.

Quadro 4-Índice de bombeamento para SBF1 e SBF2

<i>2,5mca</i>	Volume (l) SBF1	Volume (l) SBF2	Energia (kwh)	Energia consumida SBF1 (kwh)	Energia consumida SBF2 (kwh)	Índice de bombeamento Ib (l/kwh)-SBF1	Índice de bombeamento Ib (l/kwh)-SBF2	Índice de consumo Ic (kwh /l)- SBF1	Índice de consumo Ic (kwh /l)- SBF2
08/jun	7450,85	9259,13	10,34	0,743	0,797	720,77	895,69	0,00103	0,00089
09/jun	8202,57	9801,27	10,13	0,786	0,849	809,71	967,52	0,00097	0,00088
10/jun	6229,22	7449,81	5,18	0,499	0,610	1203,29	1439,07	0,00041	0,00042
11/jun	8368,01	10026,04	11,09	0,789	0,883	754,45	903,93	0,00105	0,00098
12/jun	8714,00	10455,22	11,65	0,831	0,920	748,19	897,69	0,00111	0,00102
MÉDIA	7792,93	9398,30				847,28	1020,78	0,000914	0,000838
<i>7,5mca</i>									
13/jun	6788,36	6533,62	10,26	0,828	0,908	661,81	636,97	0,00125	0,00143
14/jun	5905,70	6133,57	10,17	0,745	0,845	580,85	603,26	0,00128	0,00140
15/jun	5502,57	5746,69	8,65	0,690	0,775	636,15	664,37	0,00108	0,00117
16/jun	7125,38	6992,91	11,72	0,870	0,965	608,04	596,74	0,00143	0,00162
17/jun	5688,74	5736,07	9,02	0,642	0,757	630,57	635,82	0,00102	0,00119
MÉDIA	6202,15	6228,58				623,48	627,43	0,001212	0,001362
<i>13,5mca</i>									
19/jun	6654,31	5697,42	11,74	0,911	0,967	566,81	485,30	0,00014	0,00017
20/jun	6121,09	5040,31	10,02	0,791	0,866	610,89	503,03	0,00013	0,00017
21/jun	5048,64	4278,56	7,95	0,607	0,732	635,05	538,19	0,00012	0,00017
22/jun	6701,04	5597,90	11,61	0,869	0,954	577,18	482,17	0,00013	0,00017
23/jun	6721,30	5606,86	11,75	0,869	0,962	572,03	477,18	0,00013	0,00017
MÉDIA	6249,28	5244,21				592,39	549,12	0,00013	0,00017

5 CONCLUSÃO

Para os três casos observou uma forte tendência polinomial das grandezas em estudo, sendo esta, mais próxima de seu valor máximo 1,00.

A bomba SBF1 é mais indicada para valores de altura manométrica entre 7,5 e 13,5 mca e regiões com alto índice de irradiação ou estações do ano que proporcionam uma grande quantidade de energia disponível, pois tem maior volume bombeado quando submetida a essas condições de trabalho.

A bomba SBF2 é mais indicada para valores de altura manométrica entre 2,5 e 7,5 mca e regiões com baixo índice de irradiação ou estações do ano que apresentam energia disponível reduzida no período, pois tem maior volume bombeado quando submetida a essas condições de trabalho.

O sistema SBF1 e o SBF2 mantêm características complementares, podendo ser utilizados em conjunto, onde poderá ser explorado ao máximo cada um dos sistemas em suas faixas de horário de melhor rendimento.

6 REFERÊNCIAS

ANAUGER (Brasil). **Manual p100-r100. 2011.** Disponível em: <http://www.anauger.com.br/imagens/MANUAL_P100-R100_versao_JUL_12_SITE.pdf>. Acesso em: 11 out. 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 2008. 3ª Edição. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2011.

BOMBAS INDESUR (Argentina). **Manual tecnico.** Disponível em: <http://www.bombasindesur.com.ar/bombas-metalicas.php>. Acesso em: 10 out. 2014.

BOTUCATU-SP. FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONOMICAS. (Org.). **Sítio Modelo: Faculdade de ciências agronômicas.** 2013. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/#!/sitiomodelo>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

CARLOS ALBERTO ALVARENGA (Belo Horizonte). Engenheiro. **O módulo fotovoltaico para gerador solar de eletricidade**. 2012. Disponível em: <www.solenerg.com.br>. Acesso em: 04 mar. 2014.

CASTRO, R. M.; **Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução à Energia Fotovoltaica**; ed. 2; Lisboa- Portugal: Universidade Técnica De Lisboa Instituto Superior Técnico, 2008. 63 p.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION [CEC] (2005). **Water-Energy Relationship Report**. CEC, Califórnia, 2005. Disponível em:<<http://www.energy.ca.gov/2005publications>>. Acesso em: 29 ago. 2012.

COSTA, H. S. **A qualidade de energia de sistemas fotovoltaicos domésticos em áreas rurais**. Energia Rural, São Paulo, v.31, n. 5, p.172-81, set. 2001.

CRESESB. Centro de referência para energia solar e eólica Sergio de Salvo Brito. **Tutorial sobre energia Solar**. 2010. Disponível em:< <http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 15 ago. 2012.

DEMONT, Rogers. **Sistema de Co-Geração de Energia a partir de Painéis Fotovoltaicos**. 1998. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Inep - Instituto De Eletrônica De Potência, Universidade Federal De Santa Catarina, Santa Catarina, 1998.

FEDRIZZI, M. C. **Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições apreendidas e procedimentos para potencializar sua difusão**. São Paulo, 2003. 174p. Tese (Doutorado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-graduação da Universidade de São Paulo.

FEDRIZZI, Maria Cristina. **Catálogo e descrição bibliográfica: Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaicos**. São Paulo, SP: EDUSP, 1997. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, 1997.

FERREIRA, Maria Julita Guerra. **Inserção da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. 1993. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo-sp, 1993.

FIORENTINO, J. J. **Análise do desempenho de um conjunto de módulos fotovoltaicos aplicados para energização rural**. Botucatu, 2004, 143 p. Tese (doutorado em Energia na Agricultura). UNESP/FCA. Botucatu - SP, 2004.

FRAIDENRAICH, N.; VILELA, O.C. Dynamic behavior of water Wells coupled to PV pumping systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, v. 15, p. 317-330, jan. 2007.

FRAIDENRAICH, Naum. **Tecnologia Solar no Brasil. Os próximos 20 anos**. Campinas: Unicamp, 2002. 11 p. Disponível em: <http://www.cgu.unicamp.br/energia2020/papers/paper_Fraidenraich.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2012.

GNOATTO, E. **Desempenho de painel fotovoltaico para geração de energia elétrica na região de Cascavel**. 2003. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel/PR, 2003.

GONÇALVES, L. F. ; **Contribuições para o Estudo Teórico e Experimental de Sistemas de Geração Distribuída**. 2004. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Escola De Engenharia Departamento De Engenharia Elétrica Programa De Pós-graduação Em Engenharia Elétrica, Universidade Federal *Do Rio Grande Do Sul*, Porto Alegre, 2004.

HAMIDAT, A.; BENYOUCEF, B. **Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems**. *Renew Energy*. 2007. Disponível em: <<http://oretano.iele-ab.uclm.es/~carrion/Bibliografia/BOMBEO%20FOTOVOLTAICO/Hamidat%202007.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

HELMEMAN, Radames Juliano. **Desenvolvimento de um sistema para monitoramento remoto em centrais de microgeração fotovoltaica**. 2014. 1 v. 188 p. Monografia (Doutorado em Agronomia Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista UNESP. Botucatu.

HOEKSTRA, A.Y., HUNG, P.Q. **Virtual water trade: a quantification of virtualwater flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series.** Holanda, 2002. Disponível em: <www.waterfootprint.org>. Acesso em: 01 ago. 2011.

KOLLING, M. E.; SOUZA, S. N. M.; RICIERI, R. P.; SAMPAIO, S. C.; DALLACORT, R. **Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.527-535, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162004000300005&lng=en>. Acesso em: 15 mar. 2014.

KOLLING, E. M. et al. **Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.527-535, set./dez. 2004.

LOPES, Luiz Carlos Nascimento. **AVALIAÇÃO DE SISTEMA EÓLIO-ELÉTRICO DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA.** 2011. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica., Departamento de Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e MARINI, J. A.; ROSSI, L. A. Projeto de Sistemas Fotovoltaicos para oferta de energia elétrica a comunidades rurais.** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200046&script=sci_arttext>. Acesso em: 29 ago. 2012.

MARINI, J. A.; ROSSI, L. A. **Sistematização do dimensionamento técnico e econômico de sistemas fotovoltaicos isolados por meio de programa computacional.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.1, p.67-75, jan./abr. 2005

MARTINS, E. **Panorama de um país ensolarado. Ciência Hoje,** 09 jan. 2003. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/1733>>. Acesso em: 01 abr. 2006.

MELÉNDEZ, Teddy Arturo Flores. **Avaliação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento**. 2009. 1 v. 86 p. 87 f. Monografia (Mestrado em Energia) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO USP. São Paulo.

MICHELS, Roger Nabeyama. **Avaliação de um sistema de bombeamento de água alimentado por painéis fotovoltaicos**. 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

MME - Ministério das Minas e Energia. **Eficiência Energética e Conservação de Energia**, Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: 10 maio 2013.

MOREIRA, Carlos Alberto Machado. **Avaliação do Desempenho Hidro-Energético de Sistemas Fotovoltaicos Utilizados no Bombeamento se Água**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas., Botucatu-SP, 2009.

NIEDZIALKOSKI, Rosana Krauss. **Desempenho de painéis solares mono e policristalinos em um sistema de bombeamento de água**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Departamento de Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná., Cascavel, 2013.

NOGUEIRA, C. U. **Utilização de sistemas solar e eólico no bombeamento de água para uso na irrigação**. 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

OCÁCIA, G. C.; SANTOS, J. C. V., CÔNSUL, Renato de Ávila. **Sistemas Fotovoltaicos e sistemas híbridos para eletrificação Residencial Rural**. Disponível em:

<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200056&script=sci_arttext>. Acesso em: 29 ago. 2012.

ONU-Agua -Programa das Nações Unidas.**Metas Relacionadas a água**, 2013. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-agua/>>. Acesso em: 3 dez. 2013.

PEREIRA, S.; MELO B. **Fertirrigação, adubação e nutrição das culturas do abacaxizeiro e maracujazeiro**. Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/fertirrigacao.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2009.

PNUD-Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2011**. Disponível em: <www.pnud.org.br/idh/>. Acesso em: 3 dez. 2013.

PRESENÇO, J. F. **Desenvolvimento de um sistema de controle para avaliação de fontes de energias renováveis no bombeamento de água.**, 2007, 150 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura). UNESP/FCA. Botucatu.

R. Van Pelt, C. Weiner e R. Waskom, **Solar-powered Groundwater Pumping Systems USA;_Colorado,2012.** Disponível em:<<http://www.ext.colostate.edu/pubs/natres/06705.html>>. Acesso em: 01 mar 2014.

RIO CARRILLO, A. M., FREI, C. **Water: a key resource in energy production**. Energy Policy (2009).

RODRIGUES, Rubens Chaves. **Análise do Desempenho Hidroenergético de Sistemas de Abastecimento de Água do Município de Marabá**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Para, Belem, 2012.

SANTOS, J. A. A.; MICHELS, R. N. **Influência de fatores ambientais sobre o desempenho de um sistema de bombeamento fotovoltaico: um estudo de caso.** *Revista Agroambiental*, Pouso Alegre, v. 03, n. 3, p. 51-55, 2011.

SEGUEL, J. I. L.; **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital.** 2009. 206 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Escola de Engenharia Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SERPA, N. P. M. **Eletrificação fotovoltaica em comunidades caiçaras e seus impactos socioculturais.** Tese de Doutorado. Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2001.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I. M. T.; Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. **Congresso Brasileiro de Planejamento Energetico**, Brasília-DF, n., p.1-15, 31 maio 2006. Disponível em: <http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/sbpe_2006.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2012.

SILVA, C. D. **Eficiência da conversão de radiação solar em energia elétrica por módulos fotovoltaicos.** Botucatu, 2003. 166 p. Tese (Doutorado em Agronomia). UNESP/FCA. Botucatu - SP, 2003.

SILVA, C. D.; SERAPHIM, O. J. Eficiência da conversão de radiação solar em energia elétrica por módulo fotovoltaico. **Energia na agricultura.** Botucatu, v. 20, n. 2, 2005, 1 - 13.

SIQUEIRA, J. A. C. **Desempenho de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico de pequeno porte para energização rural.** Botucatu, 2005, 176 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). UNESP/FCA. Botucatu - SP, 2005.

SOLAR BRASIL (São Paulo) (Org.). **Informações: Bombas D'água.** 2013. Disponível em: <<http://www.solarbrasil.com.br/bombas.htm>>. Acesso em: 04 mar. 2014.

TIAGO FILHO, G. L. **Carneiro hidráulico: o que é e como construí-lo.** CERPCH - Centro Nacional de Referência em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos. 2002. Disponível em: <http://tecnociencia.inf.br/comunidade/arqautor/diversos/bombaca_mneiro.swf>. Acesso em: 20 dez. 2012.

TIBA, C. et al. **Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres.** Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.

TOYAMA DO BRASIL, Ficha técnica. Disponível em: http://www.toyama.com.br/produtos_det.asp?cod_categoria=46&cod_linha=8&cod_sublinha=44&cod_produto=322. Acesso em 10 de out 2014

UNITED NATIONS EDUCACIONAL, SCIENTIFIC END CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World.** 2011. Disponível em: <[HTTP://WWW.unesco.org/water/wwapp/wwdr/wwdr3/pdf/wwdr3_water_in_a_changing_world.pdf](http://WWW.unesco.org/water/wwapp/wwdr/wwdr3/pdf/wwdr3_water_in_a_changing_world.pdf)>. Acesso em 3 de mar 2014.

VARELLA, F. K. O. M.; GOMES, R. D. M.; **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação.** Campinas-SP: International Energy Initiative, 2009. 43 p.

WINROCK INTERNATIONAL – BRAZIL. **Trade Guide on Renewable Energy in Brazil.** Outubro, 2002.

ZILLES, R. **Geração de Eletricidade a Partir da Energia Solar: Sistemas Fotovoltaicos.** Dossiê Energia GREENPEACE. 2004.