



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

LAÉCIO HENRIQUE MAURIZ RODRIGUES



Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
PROJETO DE BOMBEAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA PEQUENOS
PRODUTORES RURAIS



Departamento de
Engenharia Elétrica



LAÉCIO HENRIQUE MAURIZ RODRIGUES

PROJETO DE BOMBEAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA PEQUENOS PRODUTORES
RURALS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Ronimack Trajano de Souza, D. Sc.

Campina Grande
2021

LAÉCIO HENRIQUE MAURIZ RODRIGUES

PROJETO DE BOMBEAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA PEQUENOS PRODUTORES
RURALS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Ronimack Trajano de Souza, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais,
Rosinalva e Henrique, que sempre me
incentivaram em todos os meus planos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso, e por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para concluir este trabalho.

A minha mãe, Rosinalva, que sempre me incentivou e apoiou de todas as formas possíveis. Por acreditar nos meus sonhos junto comigo e estar do meu lado em todas as situações.

Ao meu pai, Henrique, pelo seu exemplo de honestidade e disposição para execução de todos os trabalhos impostos.

A minha irmã, Maria Eduarda, que sempre acreditou e me deu forças para seguir com meu sonho.

A minha futura esposa, Lizandra, por ser minha força em Campina Grande, onde estive longe de minha família. Por seu amor, carinho e sua forma alegre e otimista que foram essenciais nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador Ronimack, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Agradeço também a toda minha família e amigos, que com todo carinho e apoio compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização desta etapa.

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

*“ A vida aqui só é ruim
Quando não chove no chão
Mas se chover dá de tudo
Fartura tem de montão
Tomara que chova logo
Tomara, meu Deus, tomara
Só deixo o meu Cariri
No último pau-de-arara
Só deixo o meu Cariri
No último pau-de-arara.”*

José Guimarães.

RESUMO

O acesso à água e à energia elétrica são condições indispensáveis para o bem-estar e sobrevivência do ser humano. O acesso à água no Nordeste brasileiro se dá por meio do subsolo, grandes rios e reservatórios, que, por vezes estão muito dispersos e não atendem toda a população da região. Além do transporte de água por meio de carros pipa, o bombeamento elétrico é a principal forma de distribuição de água para utilização humana e animal nessa região. No entanto, a universalização da energia elétrica nessas regiões é vista com pouca atratividade por parte das concessionárias de energia. Diante do exposto, novos estudos e propostas para incentivo e fomento à implementação de novas tecnologias para geração e armazenamento dos recursos hídricos devem ser estimulados. Este trabalho tem por objetivo projetar um sistema de bombeamento solar fotovoltaico que atenda a demanda de água para pequenos produtores rurais dessa região. Para isso, são apresentados valores médios de demanda hídrica diária para a população selecionada. Foram estimados parâmetros médios para a profundidade e vazão de poços artesianos dessa região. Um kit de bombeamento solar foi orçamentado e foi realizada uma análise da viabilidade financeira desse sistema, concluindo-se que apesar do elevado investimento inicial o sistema é viável a longo prazo.

Palavras-chave: Bombeamento de água, Energia solar, Nordeste, Produtor rural.

ABSTRACT

Access to water and electricity are essential conditions for human well-being and man's survival. Access to water in the Northeast of Brazil is by the Earth's underground, large rivers, and reservoirs, which, sometimes, are very dispersed, and do not serve the entire population of the region. In addition to transporting water by water trucks, the electric water pumping system it's the main form of water distribution for human and animal uses in this region. However, the universalization of electricity in these regions is seen with little attractiveness by part of concessionaires of energy. Given the above, new studies and proposals to encourage and foster the implementation of new technologies for the generation and storage of water resources should be encouraged. This work aims to design a photovoltaic water pumping system to meet the water demand of small rural producers in this region. For this, average daily water demand values are considered for the required rate. Average parameters were estimated for the depth and flow of artesian wells in this region. A photovoltaic water pumping kit was budgeted and an analysis of the financial viability of this system was carried out, concluding that despite the high initial investment, the system is viable in the long term.

Keywords: Water pumping, Photovoltaic energy, Northeast, Rural producer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Variação da geração de energia de acordo com as condições climáticas.	16
Figura 2 – Módulo fotovoltaico.	18
Figura 3 – Curvas I-V e P-V.	19
Figura 4 – Associação de módulos em série.	20
Figura 5 – Associação de módulos em paralelo.	21
Figura 6 – Diagrama esquemático de um sistema de bombeamento solar fotovoltaico.	24
Figura 7 – Representação de um sistema de bombeamento solar fotovoltaico.	25
Figura 8 – Altura manométrica de um sistema de bombeamento.	28
Figura 9 – <i>Kit</i> de bombeamento, modelo 4DPC6-112-110-1300W.	33
Figura 10 – Curva de performance do <i>kit</i> de bombeamento.	34
Figura 11 – Conexões do <i>driver</i> de bombeamento.	34
Figura 12 – Conexões dos equipamentos do <i>kit</i>	35
Figura 13 – Análise Financeira.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Demanda de água para consumo animal.	26
Tabela 2 – Produtividade dos poços.	28
Tabela 3 – Perda de carga em tubulações de PVC.	29
Tabela 4 – Perda de carga em conexões de PVC.	29
Tabela 5 – Rendimento do sistema de bombeamento solar fotovoltaico.	30
Tabela 6 – Parâmetros físicos do poço.	31
Tabela 7 – <i>Kits</i> disponíveis.	35
Tabela 8 – Parâmetros utilizados na análise financeira.	36
Tabela 9 – Retorno financeiro do investimento ao longo dos anos.	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
HSP	Horas de Sol Pleno
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MJ	Multijunção
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
SBSFV	Sistema de Bombeamento Solar Fotovoltaico
SFCRs	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
SFIs	Sistemas Fotovoltaicos Isolados
SNIS	Sistema Nacional de Informações

LISTA DE SÍMBOLOS

I	Corrente Elétrica
I_{mp}	Corrente de máxima potência
I_{sc}	Corrente de curto circuito
V	Tensão Elétrica
V_{oc}	Tensão de circuito aberto
V_{mp}	Tensão de máxima potência
P_{max}	Potência máxima

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
2	Fundamentação Teórica	16
2.1	Energia Solar Fotovoltaica.....	16
2.1.1	Célula Fotovoltaica	17
2.1.2	Módulo Fotovoltaico	17
2.1.3	Painel Fotovoltaico.....	19
2.1.4	Conversores de Potência.....	22
2.2	Sistemas de Bombeamento de Água	23
2.2.1	Sistema de Bombeamento Solar Fotovoltaico	24
3	Projeto do SBSFV.....	25
3.1	Estimativa do Consumo de Água.....	26
3.2	Características Hidrogeológicas	27
3.3	Dimensionamento do Sistema de Geração	28
3.3.1	Metodologia para o Dimensionamento do Sistema de Bombeamento.....	28
3.4	Cálculos do Dimensionamento do Sistema de Bombeamento Solar Fotovoltaico	31
3.5	Escolha dos equipamentos	32
4	Análise Financeira	35
5	Conclusão	39
	Referências.....	40
	ANEXO A – Kit de Bombeamento Solar.....	43
	ANEXO B – Módulos Fotovoltaicos	48

1 INTRODUÇÃO

O acesso a água de boa qualidade para o consumo próprio é uma condição indispensável não só para o bem-estar dos seres vivos, como também para o desenvolvimento agrícola. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), no Brasil quase 35 milhões de pessoas não tem acesso ao abastecimento de água e mais de 100 milhões não dispõem da cobertura de coleta de esgoto.

De acordo com Machado et al. (2016), 93,37% dos domicílios urbanos são abastecidos através de rede com canalização interna, enquanto na área rural apenas 30,33% dos domicílios possuem este mesmo serviço. A escassez ou falta do fornecimento de água atinge severamente as regiões menos favorecidas, como é o caso das áreas rurais e, em especial, do Nordeste brasileiro.

Em sua maioria, a região possui clima semiárido, é caracterizada pela seca e por baixos índices pluviométricos (INMET, 2018). Essa característica causa uma forte dependência da intervenção do homem sobre a natureza, no sentido de garantir, por meio de obras de infraestrutura hídrica, uma melhor forma de utilização da água para fins de consumo humano e agropecuária. Numericamente a agricultura do tipo familiar predomina em todos os estados da região e ocupa 74% da população local envolvida em atividades agropecuárias, albergando um contingente de 4,7 milhões de pessoas (AQUINO; ALVES; VIDAL, 2020).

Dessa forma, é necessária a elaboração de planejamento com propostas de ações estruturais, com o investimento em obras, e estruturantes, tais como: capacitação, investimento em tecnologias apropriadas, alternativas de gestão sustentáveis, conscientização e mobilização social, entre outros. Aproximadamente 640 municípios do semiárido brasileiro são atendidos pelo Programa Emergencial de Distribuição de Água Potável, conhecido como Operação Carro-Pipa (BRASIL, 2020). Essa operação contribui para o suprimento de água para consumo humano, no entanto, não é suficiente para realizar atividades agropecuárias.

Uma maneira de atender a demanda de água para essas atividades se dá por meio da instalação de um poço artesiano, equipado com um conjunto motobomba. O êxito de

funcionamento desse conjunto está diretamente associado à disponibilidade de energia, seja ela através de motores a combustão ou a energia elétrica. No entanto, o fornecimento da energia elétrica, principalmente nas zonas rurais, é visto com pouca atratividade para as concessionárias de energia elétrica devido à baixa densidade demográfica e ao baixo nível de renda, elas alegam que o retorno com o consumo da população rural não justifica os elevados investimentos necessários para levar a rede de distribuição até estes locais (DASSIE, 2016).

Uma possível solução que permite sanar o fornecimento de energia para esse conjunto é a conversão de energia solar em energia elétrica, por meio de um sistema fotovoltaico *off grid*. Esse sistema é indicado pois permite ser instalado em locais isolados onde não há rede de distribuição da concessionária, além de outras vantagens que serão discutidas ao longo desse trabalho.

Sendo assim, foi realizado o projeto de um sistema de bombeamento solar fotovoltaico que atenda a demanda de água de pequenos produtores rurais da região nordeste, também, calculou-se o custo do sistema, sendo apresentada em seguida a análise financeira que valida o investimento realizado nessa solução.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Projetar um sistema fotovoltaico *off grid* de bombeamento de água que atenda à demanda de um consumidor rural da região nordeste.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar o funcionamento de um sistema de geração fotovoltaica;
- Analisar o funcionamento de um sistema de bombeamento d'água para uso agrícola;
- Determinar a quantidade de água suficiente para suprir as necessidades de irrigação e consumo para um pequeno produtor rural;
- Dimensionar um sistema de bombeamento solar fotovoltaico que atenda à demanda;

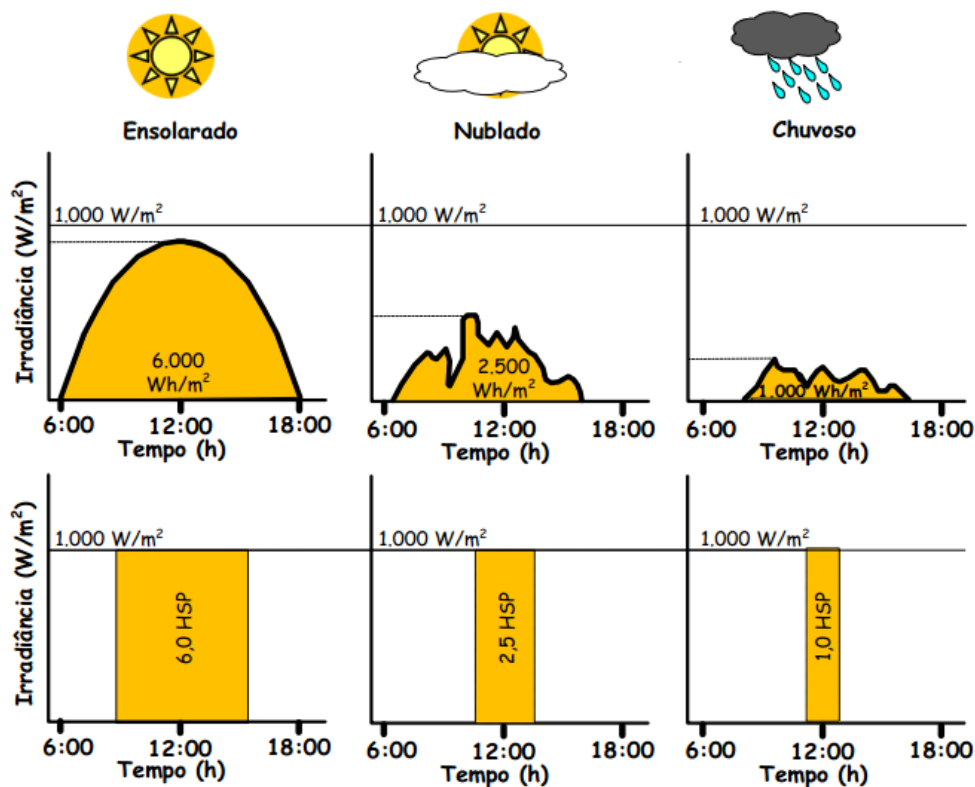
- Elaborar, por fim, a análise financeira do projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é a energia elétrica produzida a partir de luz solar, a qual é diretamente proporcional a intensidade de radiação solar, ou seja, quanto menor a irradiância, menor a quantidade de energia elétrica que pode ser gerada. A Figura 1 demonstra que a quantidade de energia produzida varia de acordo com as condições climáticas. A segunda parte da Figura 1 representa a quantidade de energia produzida para uma irradiância fixa de 1.000 W/m^2 , sendo obtido o número de horas de sol pleno (HSP).

Figura 1 – Variação da geração de energia de acordo com as condições climáticas.



Fonte: (MACENA; MARCATO, 2016).

A quantidade de HSP anual da região Nordeste é de 5,4 kWh/m², caracterizando-se como a região com maior potencial solar fotovoltaico do Brasil¹.

Os sistemas fotovoltaicos são constituídos por um conjunto gerador formado pela associação de módulos fotovoltaicos e por sistemas de condicionamento de potência. A seguir são detalhadas as características e funcionalidades desses equipamentos.

2.1.1 CÉLULA FOTOVOLTAICA

Produzir eletricidade através da energia solar não é exatamente uma novidade. Em 1839, Edmond Becquerel, um físico francês, observou que duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido produziam eletricidade quando expostas à luz solar (SMESTAD, 2002). Esse fenômeno foi denominado de efeito fotovoltaico, o qual ocorre pela absorção da luz solar através dos fótons, por uma célula fotovoltaica, os elétrons começam a se movimentar quando a energia dos fótons da luz é transferida para eles, gerando assim, uma corrente elétrica contínua (AQUINO; DILVA, 2019).

A primeira célula fotovoltaica preparada a base de silício foi desenvolvida por cientistas da Bell Labs em 1954, a célula possuía eficiência de 6% (MIRANDA; MACHADO, 2015). Hoje em dia a maioria das células presente no mercado são compostas de silício cristalino, devido ao preço reduzido do material. Porém a eficiência que este apresenta está em torno de 26,7% em condições AM1,5G (condição adotada como referência ao comprimento do caminho óptico ou espessura de atmosfera pela qual a luz solar atravessa até atingir a superfície terrestre), (GREEN, 2018). As células que vem apresentando melhor eficiência são chamadas de células de multijunção (MJ) compostas por materiais oriundos da família III-V da tabela periódica. Em 2012, as células de MJ, atingiram o recorde de eficiência de 43,5% (DERKACS, 2012).

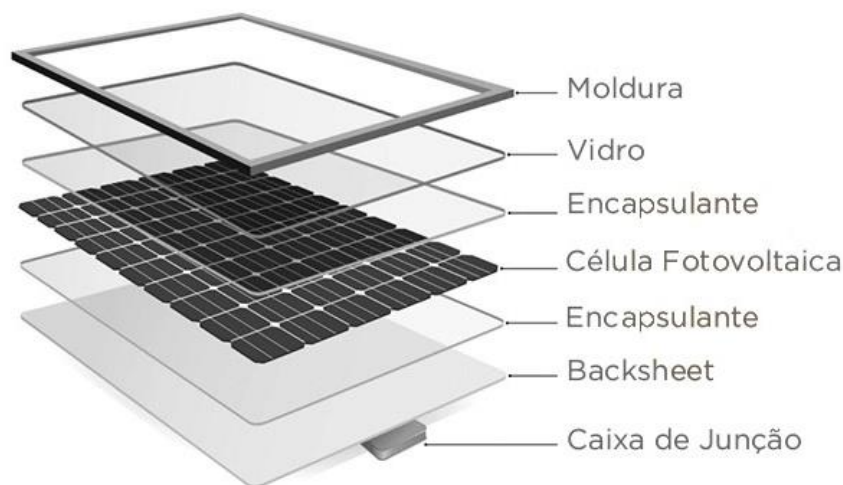
2.1.2 MÓDULO FOTOVOLTAICO

O conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre si e protegidas por um invólucro conforme a Figura 2, compõem o módulo fotovoltaico ou placa solar

¹ Disponível em: <<http://borealsolar.com.br/blog/2016/10/26/potencial-de-energia-solar-quais-as-melhores-regioes-brasileiras-para-captacao-da-luz-solar/>>. Acesso em 16 de julho de 2021.

fotovoltaica, esse equipamento é essencial para a conversão da energia solar em energia elétrica em sistemas fotovoltaicos.

Figura 2 – Módulo fotovoltaico.



Fonte: Portal Solar².

As células fotovoltaicas apresentam eficiências superiores às dos módulos fotovoltaicos, pois a eficiência é baseada na área total que recebe a radiação solar. Como os módulos possuem espaços entre as células e possuem bordas, a eficiência tende a ser menor. Segundo (JESUS, 2020), a maioria dos módulos utilizados no mercado brasileiro tem uma eficiência entre 20% e 22%.

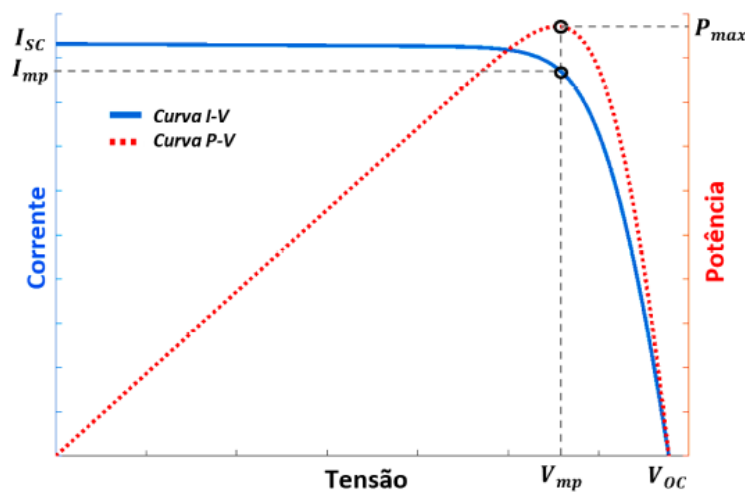
A capacidade de geração de energia de cada módulo está diretamente relacionada às curvas I-V e P-V. Na Figura 3 são apresentadas curvas I-V e P-V típicas. A curva I-V relaciona a corrente e a tensão de saída do módulo, a curva P-V representa a relação entre a potência e a tensão de saída do módulo. A obtenção dessas curvas é realizada por meio de medições em laboratório com ambiente controlado, com determinadas condições de irradiação e temperatura. A partir dessa curva é possível obter os principais parâmetros elétricos de interesse, segundo (VILLALVA, 2019), são eles:

- Corrente de curto circuito – I_{sc} : Máxima corrente que o módulo pode fornecer quando curto circuitado os terminais positivo e negativo;

² Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 25 de abril de 2021.

- Tensão de circuito aberto – V_{oc} : Máxima tensão que o módulo atinge e ocorre quando há ausência de carga conectada a ele;
- Corrente de máxima potência – I_{mp} : Corrente gerada pelo módulo quando este opera em máxima potência;
- Tensão de máxima potência – V_{mp} : Tensão que o módulo apresenta em seus terminais operando em máxima potência;
- Potência máxima ou potência de pico – P_{max} : É o ponto de máxima potência do módulo.

Figura 3 – Curvas I-V e P-V.



Fonte: (ARAÚJO; LOPES; MOREIRA, 2020).

O ponto de potência máxima de um módulo, como mencionado, é obtido sob circunstâncias controladas. Portanto, vale salientar que em instalações usuais onde o módulo está exposto às diversidades do ambiente, como temperatura e irradiação, esse ponto de operação torna-se difícil de ser obtido.

2.1.3 PAINEL FOTOVOLTAICO

A associação dos módulos fotovoltaicos constitui o painel fotovoltaico, essa associação se faz necessária para fins de geração onde almeja-se atingir níveis de conversão de energia compatíveis com a aplicação. A associação de módulos fotovoltaicos pode ser efetuada por meio do estabelecimento de conexões em série, paralelo ou mista, obtendo assim diferentes valores de tensão ou corrente. Na

V_n é a tensão do n ésimo módulo fotovoltaico e I_n é a corrente elétrica da n ésima série de módulos.

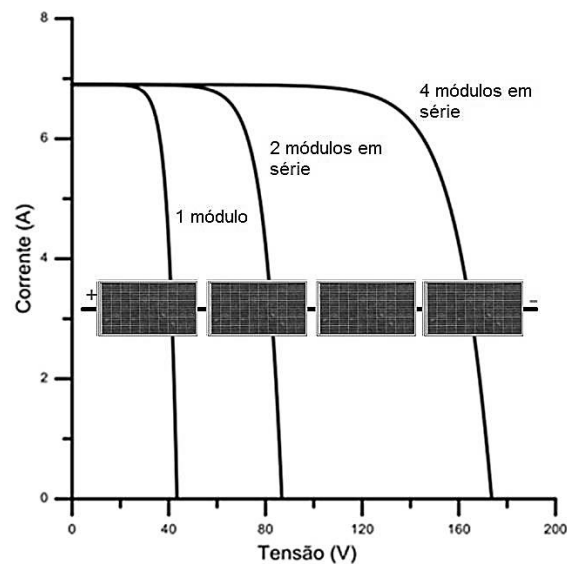
Figura 4 pode-se observar a associação de módulos em série, onde se somam as tensões de cada módulo e a corrente é mantida constante, de acordo com as equações (1) e (2):

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n. \quad (1)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n. \quad (2)$$

Onde V_n é a tensão do n ésimo módulo fotovoltaico e I_n é a corrente elétrica da n ésima série de módulos.

Figura 4 – Associação de módulos em série.



Fonte: (HERRERO, 2016).

Para realizar esse tipo de conexão entre os módulos fotovoltaicos, o terminal positivo deve ser conectado ao terminal negativo de outro módulo “idêntico” e assim sucessivamente.

A conexão em paralelo é feita unindo-se os terminais positivos de todos os módulos entre si e procedendo-se da mesma forma com os terminais negativos (PINHO;

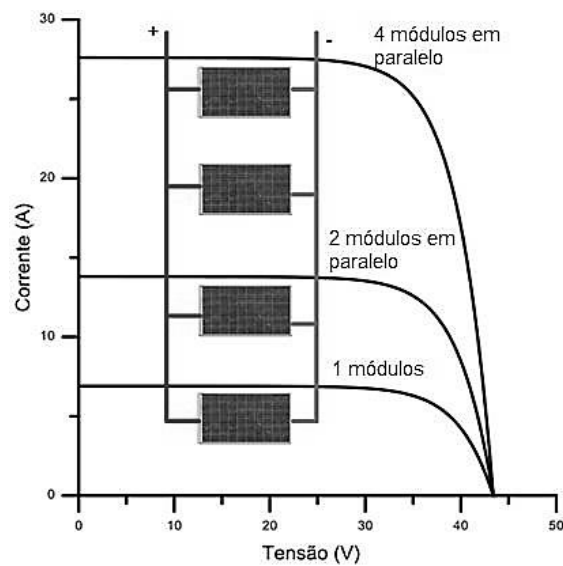
GALDINO, 2014). Esta conexão resulta na soma das correntes sem alteração da tensão, conforme as equações (3) e (4):

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n. \quad (3)$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n. \quad (4)$$

Na Figura 5 pode-se verificar o efeito da soma das correntes entre os módulos conectados em paralelo.

Figura 5 – Associação de módulos em paralelo.



Fonte: (HERRERO, 2016).

Durante a conexão entre os módulos é importante atentar-se que estes devem possuir os mesmos parâmetros de tensão e corrente. Pois a conexão entre módulos com diferentes parâmetros pode prejudicar o rendimento do painel. A corrente elétrica gerada por meio dos módulos fotovoltaicos é contínua, sendo assim, para ser utilizada em equipamentos de corrente alternada é necessário realizar a conversão de corrente contínua para corrente alternada.

2.1.4 CONVERSORES DE POTÊNCIA

Os conversores de potência utilizados em sistemas fotovoltaicos são dispositivos eletrônicos que possibilitam controlar ou processar a energia fornecida à carga de forma a obter uma melhor eficiência do sistema. Podem ser divididos em conversores CA-CC (corrente alternada para corrente contínua) e conversores CC-CC. Quando estes realizam a conversão CC-CA são denominados inversores e quando alteram o nível de tensão CC sem mudar sua forma de onda são classificados em conversores tipo *boost* ou *buck*, quando elevam ou reduzem o nível de tensão, respectivamente (PINHO; GALDINO, 2014).

Nos inversores a energia processada pode ser proveniente, por exemplo, de baterias, células a combustível ou módulos fotovoltaicos. A tensão CA de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados às cargas a serem alimentadas e no caso de sistemas conectados à rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede (PINHO; GALDINO, 2014).

Há uma grande quantidade de tipos de conversores em função das singularidades de suas aplicações. No caso de sistemas fotovoltaicos, os conversores podem ser divididos em duas categorias quanto à aplicação: Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFIs) e Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCRs). Os princípios de funcionamento para ambas as aplicações são similares, no entanto, os conversores utilizados em SFCRs, possuem padrões específicos para atender às exigências das concessionárias de distribuição em termos de segurança e qualidade da energia injetada na rede. Em sistemas de bombeamento solar é comum serem utilizados conversores CC-CC para o acionamento de conjuntos motobomba de corrente contínua, esses equipamentos são denominados *drivers*.

Ambos os tipos de conversores de potência podem ser dotados do algoritmo de incremento de eficiência MPPT (*Maximum Power Point Tracker*). Essa tecnologia se encontra em constante evolução e consiste na busca pelo maior nível de potência de saída do conversor em função dos parâmetros de tensão e corrente fornecidos pela fonte, geralmente módulos fotovoltaicos. Encontrar o ponto de máxima potência na curva da Figura 3 é uma tarefa complexa, pois os níveis de irradiância e temperatura mudam constantemente.

2.2 SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA

O objetivo de um sistema de bombeamento é transportar o fluido de um reservatório geralmente de nível inferior para um superior. Um sistema tradicional é composto pela fonte de água, podendo ser lagos, açudes, rios, lençóis freáticos, entre outros. Seguido pelo conjunto de equipamentos responsáveis por garantir a energia necessária para o transporte do fluido, por exemplo um conjunto motobomba. Por fim, a água pode ser armazenada em um reservatório para uso posterior ou pode ser utilizada diretamente.

Nesse trabalho será abordado como fonte de água os lençóis freáticos presentes no subsolo, com acesso realizado por meio de poços artesianos. Como mencionado, pode ser utilizado um conjunto motobomba para realizar a elevação da água até a superfície, para isso, o sistema necessita de energia elétrica para o seu funcionamento. Em localidades isoladas na zona rural, onde não há o atendimento da rede elétrica de distribuição, torna-se necessário empregar tecnologias de geração de energia elétrica.

Dentre essas tecnologias têm sido usados os sistemas de bombeamento acionados com motor a diesel. As motobombas com motores à combustão são amplamente empregadas em virtude de apresentar tecnologia já consolidada no mercado. Por conta disso apresentam diversas vantagens, como custo inicial baixo, disponibilidade de peças e mão de obra qualificada para instalação e assistência, mas têm custos operacionais elevados pois estão atreladas ao preço de fornecimento e transporte do diesel e muitos problemas de manutenção. Emissão de poluentes na atmosfera, derramamento de óleo, muito comum nas manobras de abastecimento do gerador, e geração de ruído são outros pontos negativos (PEREIRA; FEDRIZZI; REIS, 2017).

O aproveitamento da energia eólica em bombas d'água para irrigação é uma tecnologia consolidada, não poluente e renovável. Basicamente, um sistema eólico de bombeamento é constituído por rotor eólico, bomba hidráulica, transmissão e dispositivo de controle (LEÃO FILHO, 2007). Esse sistema funciona realizando a conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica acionando a bomba hidráulica por meio do sistema mecânico de transmissão. Em geral, o volume de água bombeado pelo catavento é suficiente para pequenos sistemas de irrigação (PACHECO; ALMEIDA, 2013).

Outra tecnologia de aproveitamento da energia eólica para sistemas de bombeamento se dá pelo uso de aerogeradores na conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica. Como destacado em Aldabó (2012) e Cunha (2017) quando cogitado o uso da energia eólica, deve-se levar em conta que nem todo local é apropriado, uma vez que, para que o sistema seja economicamente viável, a velocidade média anual mínima deve ser de 5,0 a 7,0 [m/s].

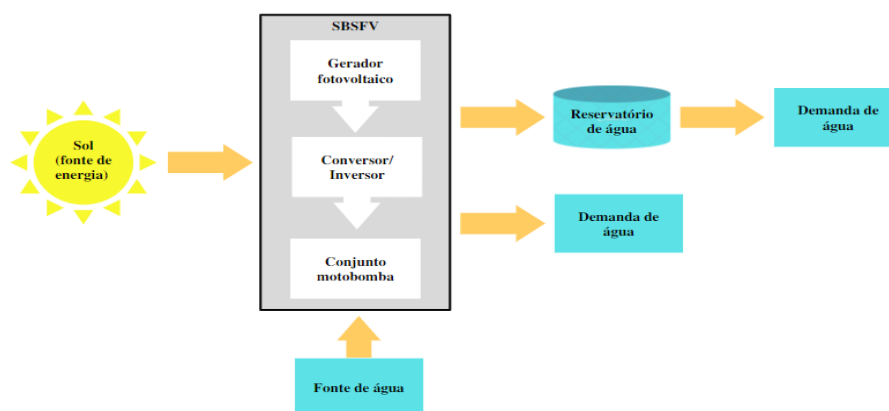
Garantir o fornecimento de energia aos sistemas de bombeamento de poços, necessário ao suprimento de água de comunidades rurais isoladas, por meio da implantação de sistemas energéticos baseados na energia solar é a tecnologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

2.2.1 SISTEMA DE BOMBEAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO

Os sistemas fotovoltaicos geralmente necessitam de armazenamento de água em reservatórios devido à variação da radiação solar. O sistema de armazenamento de água é uma tecnologia moderadamente difundida de operação autônoma e longa vida útil, portanto, uma tecnologia totalmente consolidada. Existe também, a possibilidade de acoplamento de baterias, sobretudo quando se quer fornecer eletricidade, mas este recurso onera substancialmente os custos de instalação e manutenção, e, por isso, não foi considerado neste trabalho.

Um SBSFV padrão é constituído de gerador fotovoltaico (conjunto de módulos), mecanismo de condicionamento de potência (inversor, conversor), conjunto motobomba e reservatório de água, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Diagrama esquemático de um sistema de bombeamento solar fotovoltaico.



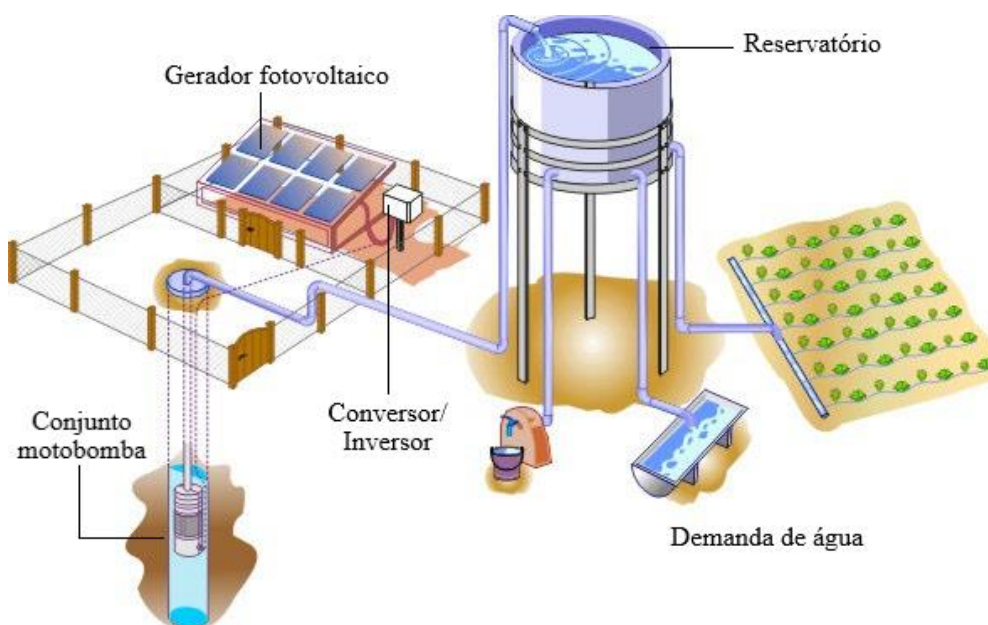
Fonte: Adaptado de (PINHO; GALDINO, 2014).

Ao contrário do bombeamento com motores a diesel, o sistema solar fotovoltaico é muito mais econômico em termos de custos operacionais e de manutenção, uma vez que dispensa o transporte e o consumo de combustível e apresenta menos defeitos, embora o investimento inicial seja maior (PEREIRA; FEDRIZZI; REIS, 2017).

3 PROJETO DO SBSFV

O esquema do sistema de bombeamento projetado é apresentado na Figura 7. A seguir são realizadas as considerações e os respectivos cálculos para o dimensionamento.

Figura 7 – Representação de um sistema de bombeamento solar fotovoltaico.



Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA, et al., 2018).

3.1 ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA

O projeto do sistema de bombeamento deve ser iniciado com a estimativa do consumo diário de água, processo similar a previsão do consumo de energia elétrica em um projeto elétrico. Essa etapa é fundamental para o correto dimensionamento do sistema fotovoltaico, especificação da bomba, reservatórios e tubulações.

Na zona rural estima-se que a demanda média diária esteja entre 70 e 100 litros por habitante (ARSKY; BARBOSA, 2011). De acordo com o IBGE³ a média de moradores por domicílio na zona rural é de 4,37 pessoas. Com esses dados é possível determinar a vazão de água necessária para o abastecimento do consumo humano, nesse trabalho serão admitidas uma demanda de 100 litros por pessoa e uma média de 5 pessoas por residência.

O consumo de água para as atividades agrícolas de pequenas propriedades rurais, em geral de base familiar foi estimado extraindo-se os valores de Pinto (2015) e Osti (2019), chegando-se à média de 15.200 Litros/dia para uma área irrigada, por sistema de gotejamento, de um hectare.

O uso de água necessária para a pecuária foi estimado tomando como base os valores de demanda de água para consumo animal segundo Bueno (2004) e quantidades de animais por propriedade rural de acordo com o Censo Agropecuário 2017, realizado pelo IBGE⁴. Os valores estimados estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Demanda de água para consumo animal.

Rebanho	Litros/(cabeça.dia)	cabeças	Litros/dia
Bovino	35,0	5	175,0
Suíno	15,0	4	60,0
Equino	40,0	1	40,0
Caprino	5,0	9	45,0
Ovino	6,0	4	24,0
Avicultura	0,3	20	6,0
Vazão diária			350,0

Fonte: Próprio autor.

³ Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/552#resultado>>. Acesso em 10 de maio de 2021.

⁴ Disponível em: < https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021.

Com isso, é possível determinar a estimativa de vazão de água por dia, para uma pequena propriedade rural, por meio das equações (5) e (6):

$$Q = Q_{\text{Consumo humano}} + Q_{\text{Irrigação}} + Q_{\text{Consumo animal}}, \quad (5)$$

$$Q = 5 \text{ pessoas} * 100 \frac{\text{Litros}}{\text{pessoa*dia}} + 15200 \frac{\text{Litros}}{\text{dia}} + 350 \frac{\text{Litros}}{\text{dia}} = 16050 \frac{\text{Litros}}{\text{dia}}. \quad (6)$$

Convertendo o valor dessa vazão para metros cúbicos, tem-se uma vazão de $16,05 \text{ m}^3/\text{dia}$. Conforme Pereira (2017), para sistemas de bombeamento solar fotovoltaico o volume do reservatório deve ter uma autonomia mínima de dois dias, prevenindo contra o desabastecimento para dias com pouca insolação. Assim, o volume do reservatório deve ter pelo menos $32,1 \text{ m}^3$.

3.2 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

O conjunto motobomba deve fornecer energia suficiente para garantir a elevação da água ao topo do reservatório com vazão suficiente para suprir a demanda. Para dimensionar o conjunto, deve-se conhecer as características do poço, como a profundidade, altura manométrica e vazão máxima.

Assim, é necessário ter um conhecimento das águas subterrâneas e sua hidrogeologia. Segundo o IBGE (2013) a região Nordeste apresenta quatro diferentes tipos de Domínios Hidrogeológicos, sendo eles, Poroso, Fissural, Poroso-Fissural e Cárstico.

O Domínio Fissural ocupa a maior parte desta região (cerca de 55%) e reúne rochas ígneas e metamórficas que apresentam, em geral, fracas possibilidades hidrogeológicas, em função das condições naturais de armazenamento e circulação do meio fissural (fraturas). Nesse domínio os poços podem ser divididos em três categorias em relação à sua produtividade, Tabela 2.

Tabela 2 – Produtividade dos poços.

Produtividade	Vazão (m³/h)
Muito Baixa	$Q < 3$
Baixa	$3 \leq Q < 10$
Média	$10 \leq Q < 40$

Fonte: (IBGE, 2013).

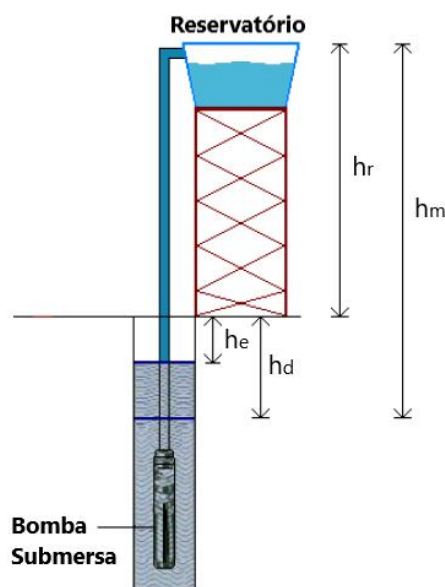
No mapa Hidrogeológico supracitado são apresentadas as profundidades dos poços com baixa produtividade para esse tipo de domínio. Essa categoria possui poços com profundidade entre 40 e 70 metros. Para tanto, nesse trabalho considerou-se um poço de produtividade baixa com os valores médios de profundidade e vazão, sendo 55 m e 6,5 m³/h respectivamente.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO

3.3.1 METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO

A seguir, na Figura 8 é apresentado o arranjo típico de sistemas de bombeamento d'água para poços artesianos e suas variáveis de interesse para o dimensionamento.

Figura 8 – Altura manométrica de um sistema de bombeamento.



Fonte: Adaptado de (PINHO; GALDINO, 2014).

- Altura estática (h_e): Distância entre o nível do solo e o nível da água em repouso;
- Altura dinâmica (h_d): Distância entre o nível do solo e o nível da água durante o bombeamento, resultante do rebaixamento do nível de água no poço; esse nível é proporcional à vazão bombeada, dependendo de fatores como a permeabilidade do solo e diâmetro do poço, e geralmente é medido em testes de vazão no ato de perfuração do poço;
- Altura do reservatório (h_r): Distância entre o nível do solo e o ponto mais alto do reservatório;
- Altura manométrica (h_m): Soma da altura do reservatório e da altura dinâmica.

Em seguida é realizada a definição da altura manométrica corrigida (h_{mc}), conforme a Equação (7), dada em metros, que equivale à altura manométrica somada às perdas de carga nas tubulações (h_t) e conexões (h_c), ambas dadas em metros. Essas perdas possuem correlação com a vazão requerida, material de fabricação e diâmetro das tubulações. Na Tabela 3 e Tabela 4 são apresentados valores típicos para essas perdas.

$$h_{mc} = h_m + h_t + h_c. \quad (7)$$

Tabela 3 – Perda de carga em tubulações de PVC .

Perdas de Carga (para cada 100 metros de tubulação)		
Vazão (L/h)	Diâmetro interno da tubulação (mm)	
	32	50
1.000	0,23	N/A
2.000	1,43	N/A
3.000	2,50	0,50
4.000	4,55	0,83
5.000	6,45	1,15
6.000	9,25	1,55

Fonte: Adaptado de Creder (2006).

Tabela 4 – Perda de carga em conexões de PVC.

Perdas de Carga (equivalência em metros lineares)		
Conexão	Diâmetro interno da tubulação (mm)	
	32	50
Joelho 45°	0,274	0,457
Joelho 90°	0,457	0,762
T	0,762	1,067

Válvula Globo	7,620	13,716
Válvula Gaveta	0,183	0,305
Válvula de Retenção	0,914	1,524

Fonte: Adaptado de Creder (2006).

Com os dados da vazão diária, em m³/dia e da altura manométrica corrigida, em metros, é possível determinar a energia hidráulica mínima necessária para realizar o bombeamento, E_H , em Wh/dia, conforme a Equação (8). As equações utilizadas no dimensionamento do sistema são as que estão propostas em Pinho e Galdino (2014).

$$E_H = g \times h_{mc} \times \rho_a \times \frac{Q}{3600}. \quad (8)$$

Onde, g é a aceleração gravitacional (9,81 m/s²), ρ_a é a massa específica da água (1.000 kg/m³). Substituindo os respectivos valores na equação acima, obtém-se a equação (9).

$$E_H = 2,725 \times h_{mc} \times Q. \quad (9)$$

O próximo passo para o dimensionamento do SBSFV é determinar a quantidade de energia elétrica diária mínima, dada em Wh, para realizar o bombeamento, conforme a Equação (10).

$$E_{EL} = \frac{E_H}{\eta_{mb}}. \quad (10)$$

Onde, η_{mb} representa o rendimento do conjunto motobomba acionados por um sistema fotovoltaico. Na Tabela 5 estão presentes valores de rendimento típicos.

Tabela 5 – Rendimento do sistema de bombeamento solar fotovoltaico.

Conjunto motobomba	Rendimento (%)
Centrífuga de superfície	15 - 25
Submersa	25 - 35
Deslocamento Positivo	35 - 45

Fonte: Adaptado de Chilundo, Mahanjane e Neves (2018).

A última etapa é determinar a potência do painel fotovoltaico, por meio da Equação (11), esta considera-se o número de HSP médio anual incidente no plano do painel fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014).

$$P_{FV} = 1,25 \times \frac{E_{EL}}{HSP}. \quad (11)$$

A unidade HSP indica a quantidade de horas que a irradiância permanece constante em 1 kW/m² por dia. A potência do painel fotovoltaico tem como unidade o watt pico (W_p), por se tratar da potência do conjunto de módulos fotovoltaicos.

3.4 CÁLCULOS DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO

Para realizar o dimensionamento dos equipamentos do sistema de bombeamento a metodologia apresentada na seção anterior foi implementada. Na Tabela 6 constam os parâmetros discutidos previamente, a serem utilizados no projeto.

A altura dinâmica considerada neste trabalho é de 55 m como mencionado anteriormente, para uma vazão de 16,05 m³/dia A altura do reservatório considerada foi de 5 m. Assim, a altura manométrica do sistema é de 60 m.

Tabela 6 – Parâmetros físicos do poço.

Descrição	Símbolo	Quantidade	Unidade
Altura Manométrica	h_m	60,0	m
Vazão Requerida	Q	16,05	m ³ /dia

Fonte: Próprio autor.

Conforme a Equação (7) é calculada a altura manométrica corrigida.

$$h_{mc} = 60 + 2,5 \times \left(\frac{60 + 3 \times 0,457 + 7,620}{100} \right) = 61,72 \text{ m.}$$

Para o projeto, foi considerada uma tubulação de recalque com 32 mm de diâmetro. Para as conexões das tubulações utilizou-se três curvas de 90° e uma Válvula globo, esses elementos são necessários para direcionar e controlar a água ao topo do reservatório.

Em seguida, é determinada a energia hidráulica mínima necessária para o bombeamento diário, por meio da Equação (9), obtém-se:

$$E_H = 2,725 \times 61,72 \times 16,05 = 2699,40 \text{ Wh.}$$

A próxima etapa consiste no cálculo da energia elétrica demandada para realizar o trabalho. Nesse cálculo, foi considerado um SBSFV para alimentação de um conjunto motobomba submerso em um poço artesiano. Assim, substituindo os respectivos valores na Equação (10), têm-se:

$$E_{EL} = \frac{2699,40}{0,35} = 7712,57 \text{ Wh.}$$

Por conseguinte, a potência do painel fotovoltaico é obtida por meio da Equação (11), considerando um HSP anual local de 5,4 kWh/m².

$$P_{FV} = 1,25 \times \frac{7712,57}{5,4} = 1785,32 \text{ W}_p \cong 1,78 \text{ kW}_p.$$

A partir dos dados calculados, a última etapa é a determinação dos equipamentos a serem utilizados.

3.5 ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS

Atualmente, com a difusão da tecnologia de bombeamento de água utilizando a energia solar fotovoltaica como fonte, é comum que o sistema a ser implantado seja adquirido em conjunto, conhecido como *kit* de bombeamento solar, em vez de adquirir

cada item do conjunto. Essa opção pode trazer benefícios quanto à eficiência global do sistema, pois os fabricantes desenvolvem equipamentos com melhor coordenação entre si.

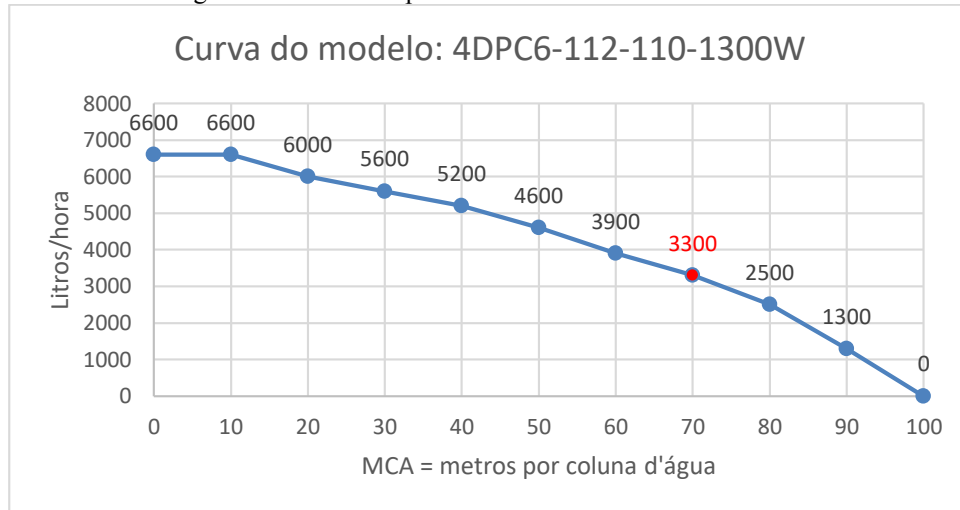
Assim, realizou-se uma busca por um *kit* de no mínimo 1,78 kWp, com um conjunto motobomba do tipo submerso, junto a fornecedores de equipamentos para bombeamento. O *kit* de bombeamento modelo 4DPC6-112-110-1300W da fabricante Tétis, atende aos requisitos de projeto. O referido *kit* é composto por 6 módulos fotovoltaicos de 335 Wp (totalizando 2,01 kWp), 1 conjunto motobomba submerso CC imã permanente sem escovas, 1 *driver* com controlador MPPT que realiza o gerenciamento do sistema, 1 disjuntor bipolar de 20 A CC, 2 conectores MC4 tipo Y, 1 par conector MC4 e sensores de nível de água. Na Figura 9 é apresentada uma ilustração do referido kit. Os detalhes dos equipamentos estão presentes no anexo A.

Figura 9 – Kit de bombeamento, modelo 4DPC6-112-110-1300W.



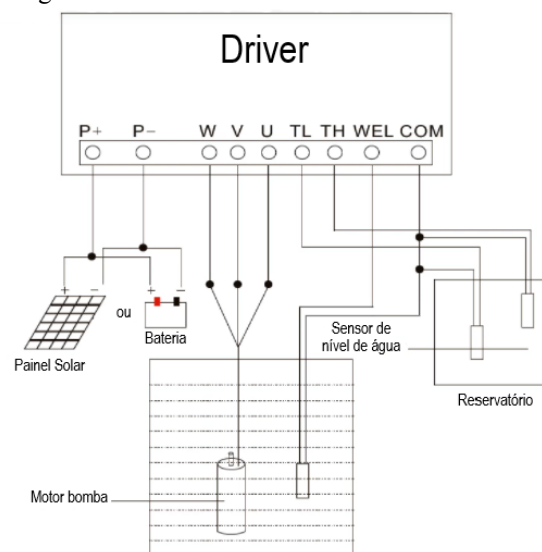
Fonte: BrasMáquinas (2021).

Em posse das especificações primárias dos equipamentos, realiza-se uma análise das informações fornecidas pelo fabricante a fim de validar a escolha. Conforme ilustrado na curva de performance do modelo 4DPC6-112-110-1300W apresentada na Figura 10, para uma altura manométrica de 70 metros o sistema possui uma vazão de 3,3 metros cúbicos por hora, considerando uma HSP de 5,4 horas obtêm-se uma vazão diária para essa altura manométrica de 17,82 metros cúbicos.

Figura 10 – Curva de performance do *kit* de bombeamento.

Fonte: Adaptado de Tétis Solar (2021).

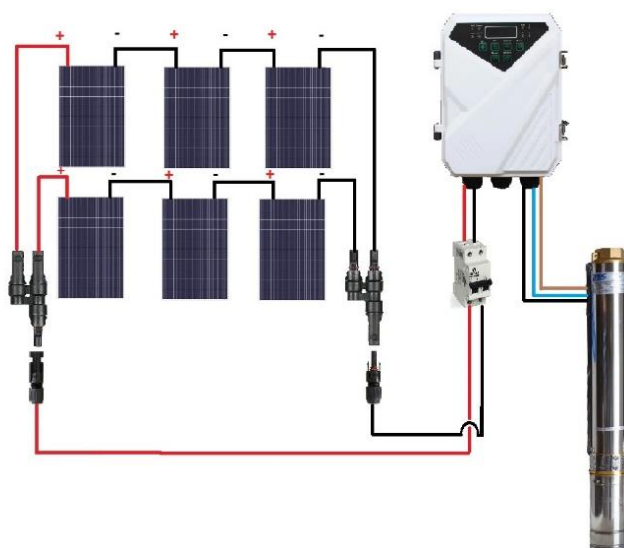
O *driver* utilizado é dotado de entradas para energização, controle de bomba e controle automático do nível de água do poço artesiano e do reservatório, Figura 11. Esse controle automático é realizado através dos sensores de nível de água instalados no poço artesiano e no reservatório, que têm as funções de condicionar o funcionamento do conjunto motobomba exclusivamente quando houver água no poço artesiano, bem como, interromper o funcionamento do conjunto motobomba quando o reservatório estiver cheio.

Figura 11 – Conexões do *driver* de bombeamento.

Fonte: Tétis Solar (2021).

Em relação aos módulos fotovoltaicos que são da marca BYD, tecnologia de silício policristalino, as especificações técnicas estão presentes no Anexo B, fazem parte dos componentes do *kit*. Eles devem ser conectados em paralelo por meio de dois arranjos de 3 módulos em série, conforme ilustrado na Figura 12. O fabricante recomenda que os módulos sejam instalados com sua orientação para o norte geográfico e uma inclinação de 15° para todos os estados da região nordeste.

Figura 12 – Conexões dos equipamentos do *kit*.



Fonte: Tétis Solar (2021).

4 ANÁLISE FINANCEIRA

Após o dimensionamento do SBSFV, procurou-se por meio de uma pesquisa de preço o menor valor disponível para sua aquisição, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – *Kits* disponíveis.

Referência	Fornecedor	Valor
4DPC6-112-110-1300W	Bras Máquinas	R\$ 8.799,00
BOMBA SOLAR OFF GRID (151853-3)	Aldo Solar	R\$ 12.453,21
PRO SAMKING 2HP 4" 4SP5-10 CC/CA MAXX	Kasatec	R\$ 12.234,91

Fonte: Próprio autor.

O menor valor obtido foi de R\$ 8.799,00, esse valor demonstra que um dos principais empecilhos ao uso dessa tecnologia é o seu elevado custo inicial considerando a renda *per capita*⁵ da população do nordeste brasileiro de R\$ 884,00, o que torna esse investimento menos atrativo à curto prazo. Como alternativa para a aquisição dessa tecnologia podem ser buscadas linhas de financiamento por bancos públicos e privados que incentivam o uso de energias renováveis, em aplicações na agropecuária. No entanto, apesar do elevado custo inicial ressalta-se que além do baixo custo de manutenção ao longo dos anos, não há mais dispêndio de dinheiro na operação de um sistema de bombeamento fotovoltaico, assim, torna-se necessário avaliar a relevância de um investimento em projetos nessa área.

Diante do exposto, é apresentada uma análise financeira que visa comparar o retorno do investimento em um SBSFV ao sistema de bombeamento conectado à rede elétrica pública. Para isso, são considerados os seguintes dados da Tabela 8. Considerou-se uma vida útil de 15 anos para o kit e uma perda de eficiência de 20% durante esse período, essa perda foi adotada com base nos dados de eficiência dos módulos fotovoltaicos, conforme o Anexo B.

Tabela 8 – Parâmetros utilizados na análise financeira.

Descrição	Quantidade	Unidade
Vida útil do SBSFV	15,00	ano
Perda de eficiência do SBSFV	20,00	%
Custo Anual de Operação	2,00	%
Inflação Anual ⁶	5,84	%
Valor do kWh ⁷	0,59	R\$

Fonte: Próprio autor.

Outro parâmetro considerado nessa análise é o custo anual de operação e manutenção, essa atividade consiste na limpeza dos módulos e verificação periódica das condições físicas dos equipamentos, portanto, esse parâmetro depende muito do local de

⁵ Disponível em: <[⁶ Disponível em: <<https://blog.nubank.com.br/inflacao-na-decada/>>. Acesso em 20 de agosto de 2021.](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/29431-sintese-de-indicadores-sociais-em-2019-proporcao-de-pobres-cai-para-24-7-e-extrema-pobreza-se-mantem-em-6-5-da-populacao#:~:text=O%20rendimento%20m%C3%A9dio%20domiciliar%20per,Nordeste%20(R%24%20884).>. Acesso em 18 de agosto de 2021.</p>
</div>
<div data-bbox=)

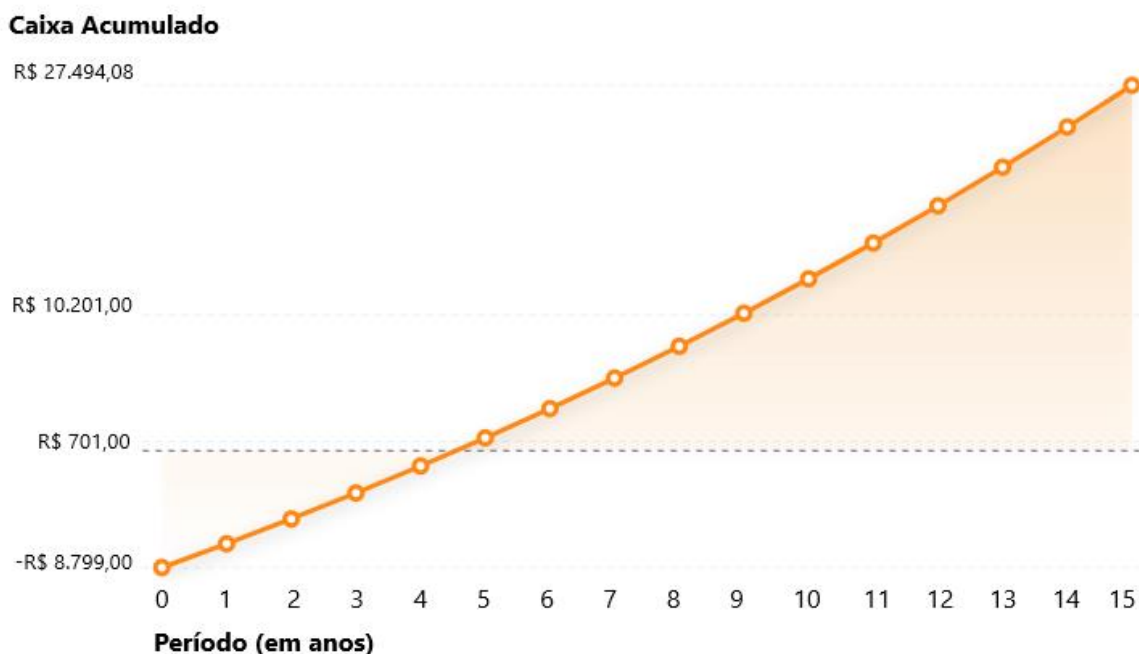
⁷ Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>. Acesso em 20 de agosto de 2021.

instalação e por isso torna-se difícil majorar com exatidão. Nesse trabalho é adotado o valor de 2% do custo total do sistema, conforme o proposto em Carvalho (2019).

Um dos parâmetros relacionados à análise é a inflação anual, para isso foi tomado como referência a inflação média da última década, referente ao período de 2011 a 2020. O valor do kWh adotado é referente à tarifa atual cobrada pela concessionária de energia Energisa para os consumidores do subgrupo B2 (consumidor rural).

Para avaliação do investimento foi utilizada uma plataforma disponibilizada pela *Sices Solar*, na qual é possível estimar o custo com energia elétrica para realizar o bombeamento de água por meio de um sistema conectado à rede elétrica pública. A Figura 13 e a Tabela 9 demonstram o retorno financeiro ao longo dos anos de funcionamento do SBSFV.

Figura 13 – Análise Financeira.



Fonte: Sices Solar⁸ (2021).

⁸ Disponível em: < <https://app-plt.sicessolar.com/project/>>. Acesso em 22 de agosto de 2021.

Tabela 9 – Retorno financeiro do investimento ao longo dos anos.

Ano	Valor
0	R\$ -8.799,00
1	R\$ -7.005,35
2	R\$ -5.135,27
3	R\$ -3.185,95
4	R\$ -1.154,51
5	R\$ 961,99
6	R\$ 3.166,56
7	R\$ 5.462,27
8	R\$ 7.852,24
9	R\$ 10.339,65
10	R\$ 12.927,73
11	R\$ 15.619,76
12	R\$ 18.419,05
13	R\$ 21.328,95
14	R\$ 24.352,83
15	R\$ 27.494,08

Fonte: Sices Solar (2021).

A partir da análise dos dados anteriores é notável que a partir do quinto ano do investimento têm-se um retorno financeiro positivo, quando se torna viável o sistema em questão comparado com um sistema conectado à rede elétrica pública.

5 CONCLUSÃO

No desenvolvimento deste trabalho avaliou-se o uso de SBSFV e suas restrições como alternativa para o bombeamento de água nas áreas sem rede elétrica de distribuição.

Adicionalmente, foi desenvolvido um estudo de caso, cujo objetivo foi projetar um sistema de bombeamento de água com alimentação elétrica a partir de um sistema solar fotovoltaico que atende à demanda das famílias que vivem em localidades sem rede elétrica de distribuição

Por fim, realizou-se uma análise do retorno financeiro do investimento, onde constatou-se que há viabilidade econômica, quando comparado com um sistema de bombeamento convencional conectado à rede elétrica pública.

Com base nos resultados obtidos para o estudo de caso, o sistema proposto tem o retorno do investimento inicial a partir do quinto ano.

Embora o estudo de caso indique a viabilidade do SBSFV, há ainda a necessidade de avaliar dados reais, os quais embasariam o estudo para uma maior exatidão nos resultados. Neste sentido a solução proposta no fornecimento de água pode ser mais bem estudada quando se dispõe de uma situação real para aplicação.

Assim, o caráter teórico das condições envolvidas nesse estudo tem como dificuldade a falta de informações que só podem ser consideradas com um local específico para coleta de dados, assim como a escassez de dados técnicos relacionados ao conjunto motobomba e driver.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se o desenvolvimento de um estudo para um SBSFV em um local específico.

REFERÊNCIAS

- ALDABÓ, R. *Energia Eólica*. São Paulo: Artliber, 2012.
- ARSKY, I.; BARBOSA, A. (2011). *TR 01-III Demanda Hídrica*. Boletim regional, urbano e ambiental. Brasil. IPEA, 2020. Disponível em:
http://plataforma.redesan.ufrgs.br/biblioteca/pdf_bib.php?COD_ARQUIVO=13989#:~:text=No%20meio%20rural%20estima%2Dse,pr%C3%B3xima%2C%20%C3%A9%20apontada%20como%20um. Acesso em: 10 de maio de 2021.
- AQUINO, J. R.; ALVES, M^a. O.; VIDAL, M^a. F.(2020). *Agricultura Familiar no Nordeste: Um Breve Panorama dos Seus Ativos Produtivos e da Sua Importância Regional*. Boletim regional, urbano e ambiental. Brasil. IPEA, 2020.
- AQUINO, P. S. A.; SILVA, J. D. C. *Geração Solar*. Brazilian Applied Science Review, Curitiba, v.3, n.1, p. 371, 2019. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BASR/article/view/773/660>. Acesso em: 26 de abril de 2021.
- ARAÚJO, A. L. P. L.; LOPES, A. V. S.; MOREIRA, A. B.(2020). *Topologias em traçador de curva I-V para módulos fotovoltaicos*. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza, junho de 2020.
- AYRÃO, V. *Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: conceitos, aplicações e estudos de caso*. Rio de Janeiro, International Copper Association Brazil, 2018.
- CARVALHO, C. E. B. *Bombeamento Fotovoltaico de Água Para Pequenas Propriedades Rurais do Semiárido Brasileiro: Dimensionamento Técnico e Financeiro*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal da Bahia, Campus Paulo Afonso, 2019.
- BRASIL. *O saneamento básico no brasil: Aspectos fundamentais. Capacitação para elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico*. Brasil. Ministério das Cidades, 2014a.
- BRASIL. *Programa Emergencial de Distribuição de Água Potável abrange regiões acometidas pela seca*. Ministério da Defesa, 26 de out. de 2020
- BUENO, J. E.; SOUZA, T. M. *Bombeamento de Água e Geração de Energia utilizando Cata-Vento*. . In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. Anais eletrônicos. Disponível em:
 <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000100034&lng=pt&nrm=abn>. Acesso em: 18 Maio. 2021.
- CHILUNDO, R. J.; MAHANJANE, U. S.; NEVES, D. Design and performance of photovoltaic water pumping systems: Comprehensive review towards a Renewable strategy for mozambique. *Journal of Power and Energy Engineering*, Scientific Research Publishing, v. 6, n. 07, p. 32, 2018.
- CREDER. H. *Instalações Hidráulicas e Sanitárias*. 6. ed. LTC, 2006.
- CUNHA. W. L. *Viabilidade do Uso de Aerogeradores no Bombeamento de Água para Irrigação da Região Litorânea da Paraíba, Nordeste do Brasil*. Inter Scientia Vol. 5, nº 1, dezembro de 2017.

- DASSIE, D. *Programa Luz para Todos: avaliação da cobertura com os dados disponíveis*. Anais do XX Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 2016.
- DERKACS, A. *Lattice-matched multijunction solar cells employing a 1 ev gainmassb bottom cell* Journal Of Photonics For Energy, 2(1), 2012.
- GREEN, M. A. *Progress In Photovoltaics: Research an Applications*. Solar cell e-ciency tables (version 53), 2018.
- HERRERO, R. (2016). *Posicionamento eficiente de módulos fotovoltaicos em plantas solares no ambiente urbano*. 10.13140/RG.2.1.4659.6089.
- IBGE. (2013). *Mapa Hidrogeológico e Hidroquímico da Região Nordeste*. Brasil. IBGE, 2013. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_hidrogeologico_e_hidroquimico/mapas/regionais/nordeste_hidrogeologico.pdf. Acesso em: 22 de julho de 2021.
- INMET. *Principais Condições Meteorológicas do Clima e do Tempo Observadas em 2018*. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018.
- JESUS, F. *Os painéis solares fotovoltaicos mais eficientes do mercado?*. Portal Energia, 2020. Disponível em: < <https://www.portal-energia.com/paineis-solares-mais-eficientes/>>. Acesso em: 26 de abril de 2021.
- LEÃO FILHO, A. D. *Uso de geradores eólicos de pequeno porte para irrigação no semiárido do Estado de Sergipe*. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2007. 76p. Tese Mestrado.
- MACENA, W. G.; MARCATO, B. F. (2016). *Circuito Microinversor Aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Autônomos*. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/295091898_CIRCUITO_MICROINVERSOR_APLICADO_A_SISTEMAS_FOTOVOLTAICOS_AUTONOMOS/citation/download>. Acesso em: 2 de maio de 2021.
- MACHADO, A. V.; SANTOS, J. A. N.; NOGUEIRA, L. T.; NOGUEIRA, M. T.; OLIVEIRA, P. A. D. (2016). *Acesso ao Abatecimento de Água em Comunidades Rurais: O Desafio de Garantir os Direitos Humanos à Água*. XII Congresso Nacional em Gestão & III Inovarse – Responsabilidade Social Aplicada, setembro de 2016.
- MIRANDA, F. S.; MACHADO, C. T. *Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão*. Revista Virtual de Química, 7(1), 126-143, 2015.
- OLIVEIRA, G. S.; et al. *Cálculo Teórico de um Sistema de Bombeamento Fotovoltaico e Simulação de Aplicação na Agricultura Familiar*. Irriga. 1. 47. 10.15809/irriga.2018v1n2p47-52.2018.
- OSTI, A. M.; et al. *Rentabilidade do Milho e do Feijão Submetido a Diferentes Lâminas de Irrigação em Mato Grosso* Rev. Econ. Sociol. Rural vol.57 no.4 Brasília, novembro de 2019.
- PACHECO, A. D. P.; ALMEIDA, C. D. G. C. *Fonte de Energia Renovável: Uma alternativa Para Irrigação no Semiárido Brasileiro*. XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX 2013 – UFRPE, dezembro de 2013.

PEREIRA, O. S.; FEDRIZZI, M. C.; REIS, T. M. *Estudo de viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos (FV) para bombeamento de água, com base nas experiências dos estados do Ceará, de Pernambuco e da Bahia*. Bahia anál. dados, Salvador, v. 27, n.1, junho de 2017.

PINHO, J.; GALDINO, M. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). Rio de Janeiro: GTES, 2014.

PINTO, J. M.; COSTA, N. D.; YURI, J. E.; CALGARO, M. *Instruções Técnicas da Embrapa Semiárido – Sistema de Gotejamento por Gravidade para a Irrigação de Hortas*. Petrolina, setembro de 2015.

SMESTAD, G. P. *Optoelectronics of solar cells*. 1a. ed., SPIE: Bellingham, 2002.

SNIS. (2020). *Ranking do Saneamento Básico 2020 – Instituto Trata Brasil*. Acesso em 18 de 04 de 2021, disponível em Trata Brasil:
http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking_2020/RELEASE_RANKING_2020_18.pdf.

VALER, R. (2016). *A Utilização de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento para Irrigação em Pequenas Propriedades Rurais*. 10.13140/RG.2.1.2688.0409.

VILLALVA, M. *Entendendo as curvas IV e PV dos módulos fotovoltaicos*. Canal Solar, 2019. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/entendendo-as-curvas-iv-e-pv-dos-modulos-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 26 de abril de 2021.

ANEXO A – KIT DE BOMBEAMENTO SOLAR

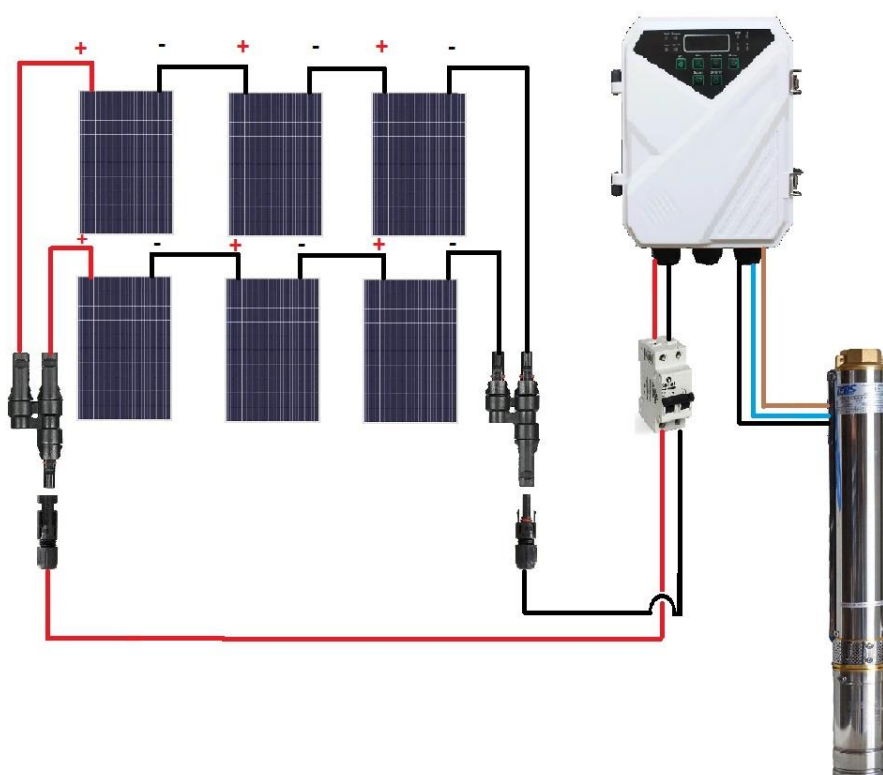


Kit completo com bomba submersa solar DC com potência de 1300W. A bomba 4DPC6-112-110-1300W pode chegar a mais de 52 mil litros por dia de vazão e conta com um motor de ímã permanente sem escovas, que não requer manutenção e um sistema de rampa de partida suave, que aumenta a vida útil do motor. Além da bomba ser toda construída em aço inox, possui um sensor de nível e um sistema de proteção contra funcionamento à seco, proporcionando muito mais segurança durante o seu funcionamento.

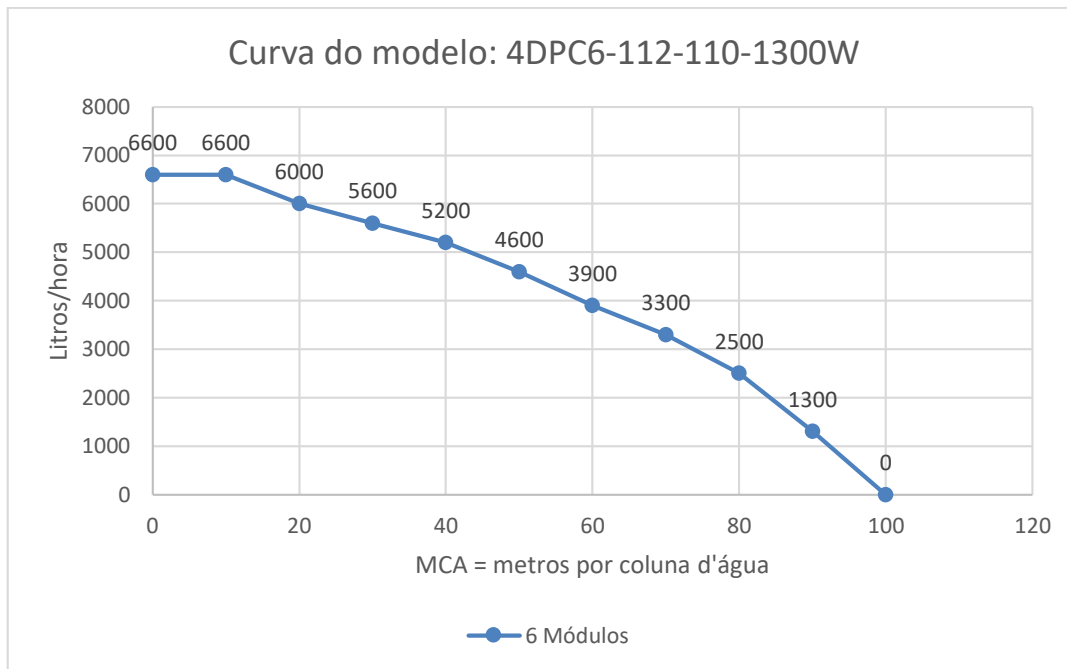
A seguir tem-se o esquema de conexão dos equipamentos do *kit* de bombeamento.



MODELO: 1300W e 1500W COM 6 MODULOS



Esse sistema de bombeamento atinge as seguintes vazões de água com as respectivas alturas manométricas, conforme a figura seguinte. Esses valores são referentes ao conjunto motobomba alimentado por 6 módulos fotovoltaicos com potência de 335 Wp.



PARÂMETROS DO PRODUTO

NO.1

Controlador MPPT

- Tecnologia MPPT: Maximiza o uso da energia dos painéis.
- **Função Liga & Desliga Automático**
- Função de conversão de frequência.
- Dupla vedação: À Prova D'água & À Prova de Vazamento
- Partida Suave: Sem corrente de partida para proteção do motor.



NO.2

Rolamento Japonês

- Usar o **rolamento NSK japonês**
- Prolonga a vida útil do motor em 3 a 5 vezes

NO.3

Fiação 100% Cobre

- Feito 100% com Fios de Cobre
- Menos perdas, maior eficiência
- **Motor DC sem escovas de imã permanente**
- Feito por máquina de enrolamento automático

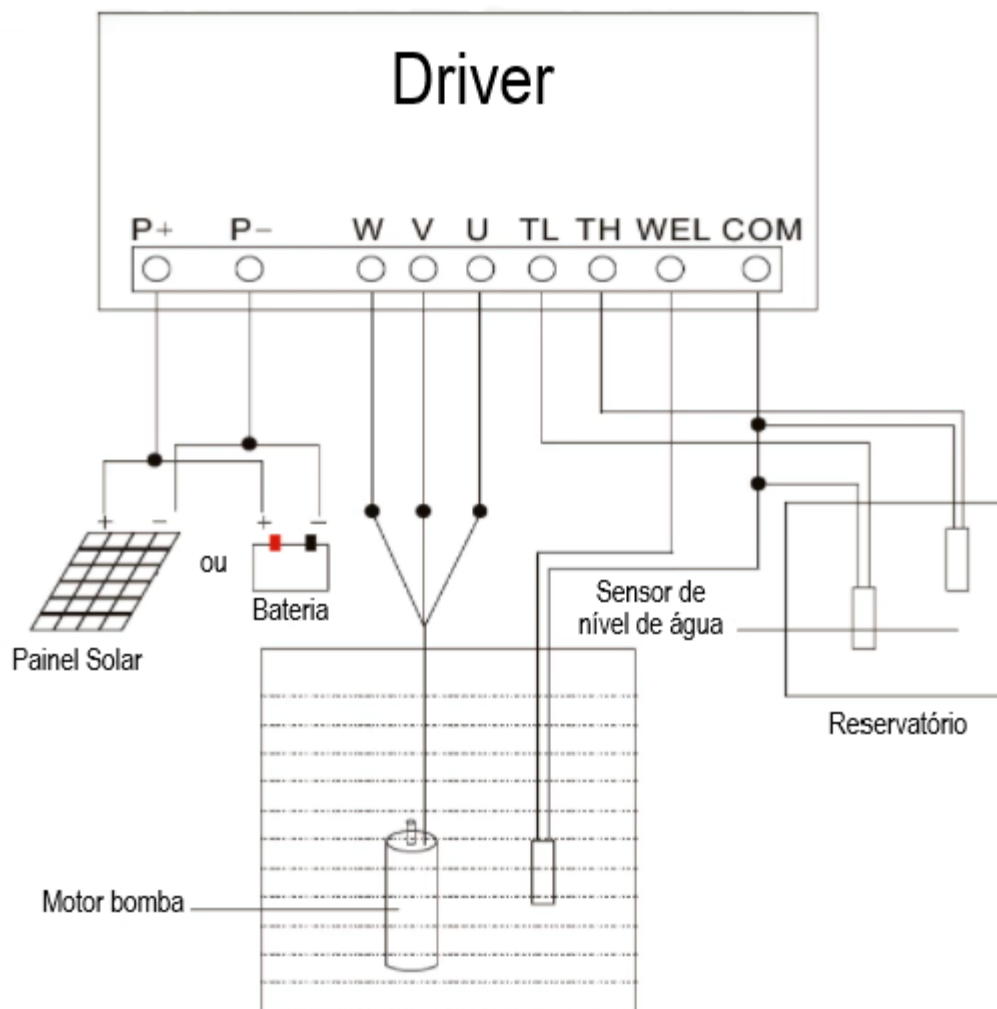


NO.4

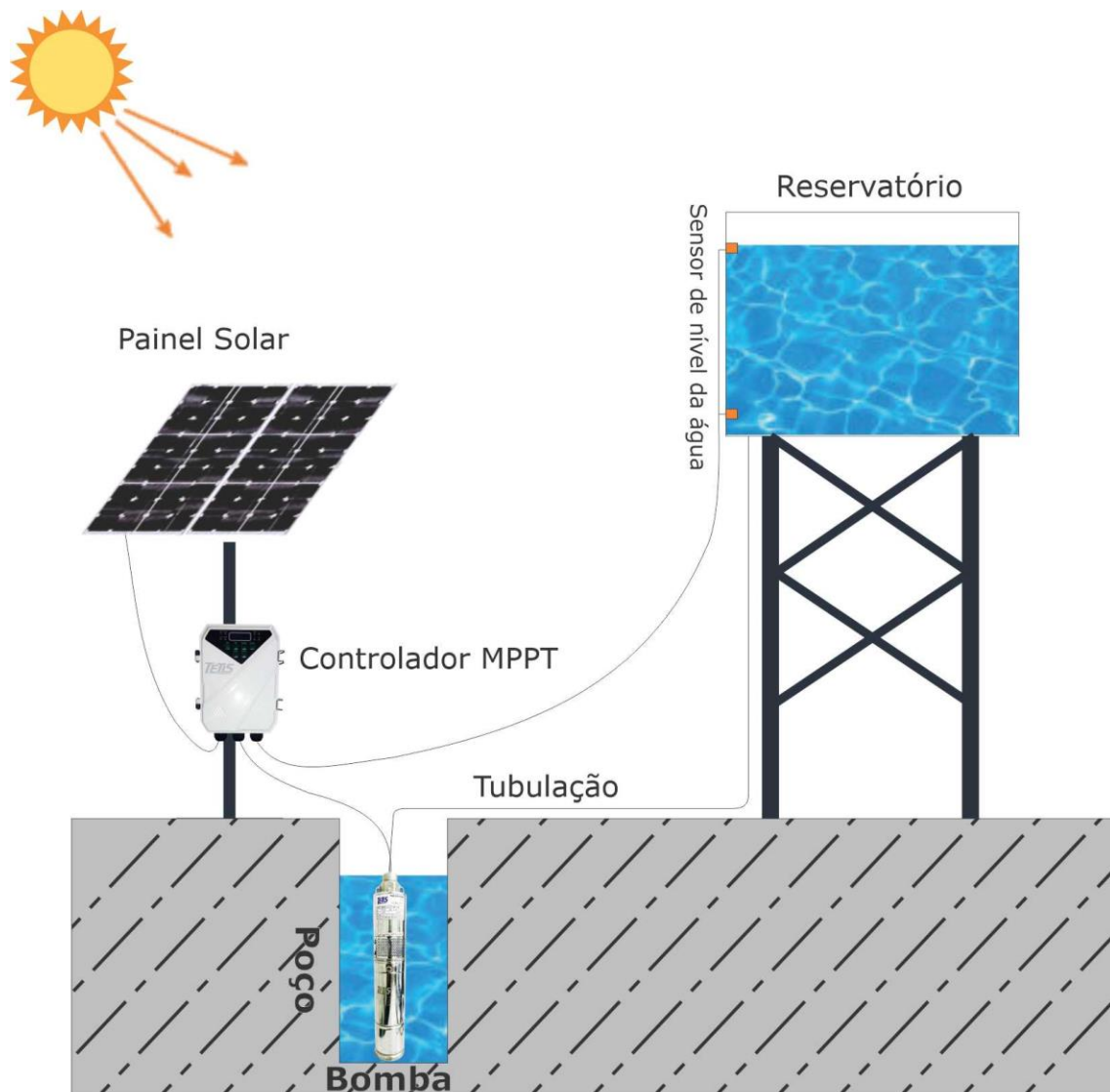
Fácil Instalação

- Manual de instruções & Kit de instalação
- Fácil de instalar sozinho**

O *driver* utilizado no *kit* permite que o sistema seja conectado a um conjunto de baterias, possibilitando o armazenamento de energia elétrica para o seu uso durante à noite ou em dias com pouca insolação. Também é possível realizar o bombeamento de forma automatizada, por meio de sensores de nível de água. A figura seguinte demonstra as conexões elétricas do *driver*.



Por fim, tem-se uma ilustração representando o funcionamento do sistema de bombeamento solar fotovoltaico.

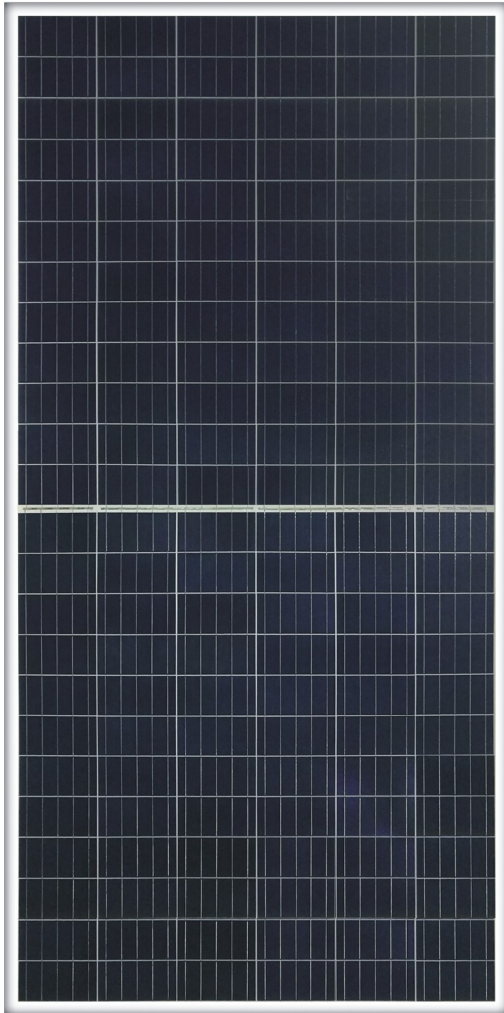


CONTROLADOR TIPO DC EXTERNO

ANEXO B – MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos fotovoltaicos presentes no *kit* de bombeamento utilizado neste trabalho possuem as seguintes especificações técnicas.

PHK-36-SERIES-5BB



18.8%

Potência máxima de 340W
Eficiência celular média de até 18.8%
EVA de alta transmitância até 92%

\$
Custo

Geração de energia até 3% maior
comparado aos módulos convencionais

10
Anos

10 anos para o produto
25 anos de garantia linear

Grid

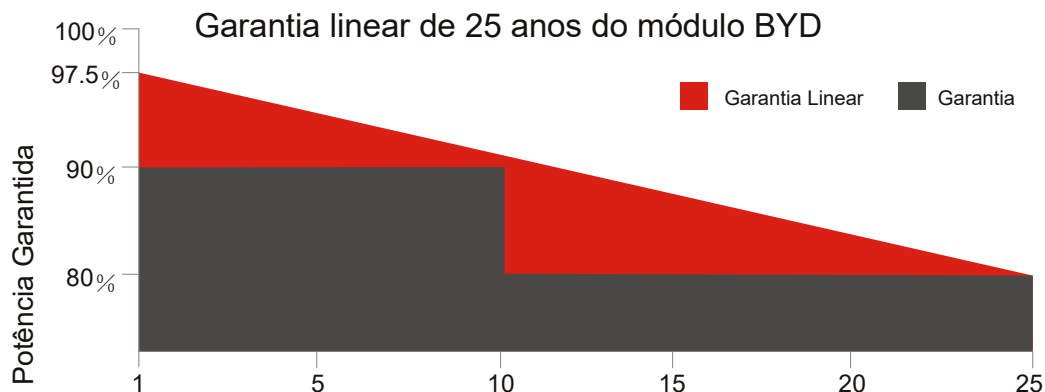
Sistemas em telhados residenciais
Sistemas comerciais On e Off-grid
Sistemas utilitários On e Off-grid

ALTA
Confiabilidade

Sem degradação induzida por potencial (PID)
Sem descoloração associada às microfissuras
Resistência de 5400Pa para neve
Resistência de 2400Pa para ventos
Menor temperatura de ponto quente (hot spot)
Meia célula é adotada para reduzir a perda
por incompatibilidade de potência

Certificados

IEC 61215, IEC 61730, UL1701
ISO9001:2008, ISO14001:2004



SOBRE A BYD

BYD (HK:1211), uma das melhores fabricantes de FV do mundo, produz desde o wafer até o módulo, comprometida com produtos sustentáveis de qualidade e melhoria contínua. A integração de Veículos Elétricos e Tecnologia de Armazenamento de Energia em Baterias faz da BYD a líder mundial em soluções desde a geração de energia até o armazenamento e consumo.

PHK-36-SERIES-5BB

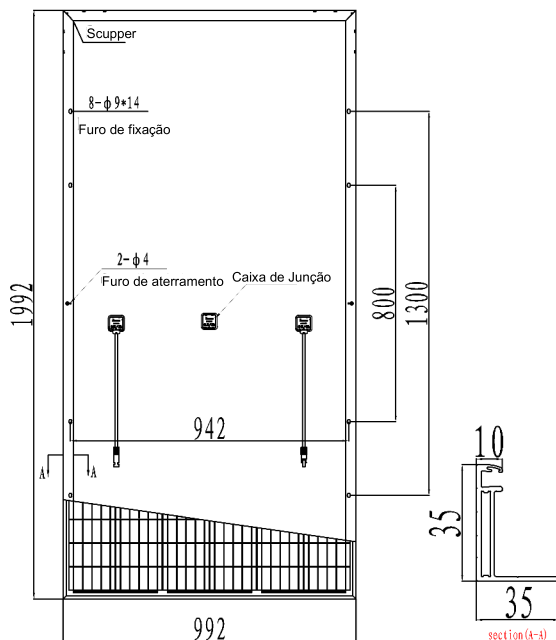
325-340W

ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS

Célula	5 Bus Bar meia célula 156.75x78.375mm
No. de Células	144 (6 × 24) pcs
Dimensões do módulo	1992 mm × 992 mm × 35 mm / 78.43 pol × 39.06 pol × 1.38 pol
Peso	22.2 kg / 48.84 lbs
Vidro Frontal	3.2 mm vidro temperado com revestimento AR
Moldura	Liga de Alumínio Anodizado
Caixa de Junção	ZH011-B-5, TS03-13B
Plug Conector	43;<
Diodos de Bypass	3 pcs
Tipo de Conector	Compatível com MC4
Corrente Máxima do Fusível	15 A
Área da Secção do Cabo	4 mm ² / 0.0062 pol ²
Comprimento do Cabo	2V810 mm / 2V .72 pol <

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Temperatura de Operação Nominal (NOCT)	43°C ± 2°C
Coefficiente da Temperatura da CC	0,066%/°C
Coefficiente da Temperatura da CC	-0,30%/°C
Coefficiente de Temperatura no Pico de Potência	-0,37%/°C



ESPECIFICAÇÃO ELÉTRICA

Tipo de Módulo	325PHK-36	330PHK-36	335PHK-36	340PHK-36
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	44.94 V	45.19 V	45.44 V	45.69 V
Tensão Máxima de Operação (Vmp)	37.57 V	37.83 V	38.10 V	38.36 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9.14 A	9.2 A	9.25 A	9.31 A
Corrente Máxima de Operação (Imp)	8.65 A	8.72 A	8.79 A	8.86 A
Potência Máxima em STC (Pmax)	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp
Eficiência do Módulo	16.4 %	16.7 %	17.0 %	17.2 %
Temperatura de Operação	H80CMBTC			
Tensão Máxima do Sistema	1500 Vcc			

STC: IRRADIAÇÃO 1000W/m², Temperatura do Módulo 25°C AM=1.5

INFORMAÇÕES DA EMBALAGEM

Embalagem	80'HC
Pcs / Pallet	=0
Pallet / Container	22
Pcs / Container	;;0



BYD SOLAR