

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GABRIEL KASPER**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO  
ENERGIA SOLAR**

**MEDIANEIRA**

**2022**

**GABRIEL KASPER**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO  
ENERGIA SOLAR**

**Sizing water pumping system using solar energy**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Cristiane Lionço de Oliveira.

**MEDIANEIRA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**GABRIEL KASPER**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO  
ENERGIA SOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22/junho/2022

---

Cristiane Lionço de Oliveira  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Alex Lemes Guedes  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Evandro André Konopatzki  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**MEDIANEIRA**

**2022**

## RESUMO

Em regiões que possuem difícil acesso a fontes hídricas e à conexão à rede de distribuição de energia elétrica, a energia solar fotovoltaica é uma das alternativas energéticas de baixo impacto ambiental em comparação com as fontes convencionais. O objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi o dimensionamento de um sistema de bombeamento de água alimentado por um sistema de geração de energia fotovoltaica, localizado no campus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). A metodologia utilizada para realização do trabalho é composta de quatro etapas, sendo elas: a determinação dos requisitos hidráulicos como tamanho dos reservatórios, vazão de  $2,7 [m^3 \cdot h^{-1}]$ , tempo de abastecimento, tubulação e altura manométrica, a determinação da potência elétrica necessária ao motor calculada como 282 W para o transporte do líquido entre reservatórios, dimensionamento do sistema fotovoltaico com baterias para três dias de autonomia e do sistema de automação. A automação do sistema e as baterias são responsáveis pela maior parcela do custo de implementação sendo de R\$ 2.361,32. O sistema de bombeamento de água alimentado por um sistema de geração de energia fotovoltaica dimensionado neste trabalho é um modelo em escala reduzida da tecnologia e pode ser utilizado por professores e acadêmicos da universidade e pela comunidade externa como exemplo de aplicação da tecnologia.

**Palavras-chave:** desenvolvimento de recursos hídricos ; energia elétrica - consumo; energia elétrica - distribuição.

## ABSTRACT

In regions that have difficult access to hydro sources and connection to the electric power distribution network, photovoltaic solar energy is one of the energy alternatives with low environmental impact compared to conventional sources. The objective of this end-of-course work was the sizing of a water pumping system powered by a photovoltaic energy generation system, located in the Medianeira campus of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). The methodology used for the accomplishment of the work is composed of four steps, which are: the determination of the hydraulic requirements as reservoirs size, flow rate of  $2.7 [m^3.h^{-1}]$ , supply time, piping and manometric height, the determination of the electric power required to the motor calculated as 282 W for the transportation of liquid between reservoirs, dimensioning of the photovoltaic system with batteries for three days of autonomy and the automation system. The system automation and batteries account for the largest portion of the implementation cost of R\$ 2,361.32. The water pumping system powered by a photovoltaic energy generation system dimensioned in this work is a reduced scale model of the technology and can be used by professors and academics of the university and by the external community as an example of application of the technology.

**Keywords:** water resources development; electric power consumption; electric power distribution.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa do total diário de irradiação.....	14
Figura 2 - Componentes da radiação global.....	15
Figura 3 - Junção P-N de um diodo.....	16
Figura 4 - Representação do processo de conversão fotovoltaica.....	17
Figura 5 - Detalhes de corte transversal de um módulo fotovoltaico.....	18
Figura 6 - Ponto de máxima potência.....	19
Figura 7 - Circuito equivalente ideal de uma célula fotovoltaica.....	20
Figura 8 - Sistema Ligados à rede.....	21
Figura 9 - Diagrama simplificado do sistema fotovoltaico domiciliar ligado em CC.....	22
Figura 10 - Aspecto de uma bateria estacionária de chumbo ácido com eletrólito líquido.....	23
Figura 11 - Diagrama simplificado do Sistema ligado em série.....	24
Figura 12 - Diagrama simplificado do Sistema ligado paralelo.....	24
Figura 13 - Funcionamento de uma bomba centrífuga.....	28
Figura 14 - Funcionamento de uma bomba volumétrica.....	28
Figura 15 - Fluxograma com os passos para a realização do trabalho.....	29
Figura 16 - Altura manométrica para bomba submersa.....	31
Figura 17 - Fluxograma da escolha da motobomba.....	38
Figura 18 - Sequência lógica para acionamento do motor.....	46
Figura 19 - Sequência lógica auxiliar.....	47
Figura 20 - Visão superior e lateral.....	48
Figura 21 - Visão superior e frontal.....	49
Figura 22 - Legenda.....	50
Figura 23 - Diagrama de acionamento da motobomba.....	51
Figura 24 - Acionamento da motobomba (painel de comando).....	52
Figura 25 - Características da bateria.....	59
Figura 26 - Dimensões da caixa d'água.....	61
Figura 27 - Características do painel fotovoltaico.....	63
Figura 28 - Características do inversor.....	65
Figura 29 - Características do controlador de carga.....	67
Figura 30 - Tabela de secção de condutores.....	69
Quadro 1 - Variáveis do controlador.....	46
Quadro 2 - Orçamento dos componentes do projeto.....	53

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Eficiência do inversor.....	16
Gráfico 2 - Total de água consumida nas bacias hidrográficas em 2019.....	18
Gráfico 3 - Total de água retirada nas bacias hidrográficas em 2019.....	33
Gráfico 4 - Curva de vazão & altura.....	34
Gráfico 5 - Curva de vazão & rendimento.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos de albedo.....	16
Tabela 2 - Comparação de eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas.....	18
Tabela 3 - Eficiência em sistemas de bombeamento fotovoltaico.....	33
Tabela 4 - Irradiação solar diária média mensal.....	34
Tabela 5 - Dados climatológicos para Medianeira.....	43



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Estado da arte.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Radiação solar.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Tecnologia fotovoltaica.....</b>	<b>16</b>
2.3.1	Célula fotovoltaica.....	16
2.3.2	Módulos Fotovoltaicos.....	18
2.3.3	Características Elétricas.....	19
<b>2.4</b>	<b>Sistema fotovoltaico.....</b>	<b>20</b>
2.4.1	Classificação de sistemas fotovoltaicos.....	20
2.4.2	Inversor.....	22
2.4.3	Acumulador de carga.....	23
2.4.4	Controlador de carga.....	25
<b>2.5</b>	<b>Recursos hídricos.....</b>	<b>25</b>
<b>2.6</b>	<b>Bombeamento fotovoltaico.....</b>	<b>26</b>
2.6.1	Motobomba.....	27
2.6.2	Motor.....	27
2.6.3	Bomba.....	27
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Dimensionamento de sistema fotovoltaico aplicado a bombeamento.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Etapa 1.....</b>	<b>30</b>
3.2.1	Determinação de demanda.....	30
3.2.2	Diâmetro da tubulação.....	30
3.2.3	Determinação da altura manométrica do sistema.....	31
3.2.4	Determinação potência hidráulica.....	32
<b>3.3</b>	<b>Etapa 2.....</b>	<b>32</b>
3.3.1	Determinação Motobomba.....	33
<b>3.4</b>	<b>Etapa 3.....</b>	<b>33</b>
3.4.1	Determinação dos módulos fotovoltaicos.....	34
3.4.2	Determinação do banco de bateria.....	35
3.4.3	Determinação do controlador de carga.....	36

3.4.4	Determinação do inversor.....	36
<b>3.5</b>	<b>Etapa 4.....</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Desenvolvimento da etapa 1.....</b>	<b>38</b>
4.1.1	Altura manométrica.....	39
<b>4.2</b>	<b>Desenvolvimento da etapa 2.....</b>	<b>40</b>
<b>4.3</b>	<b>Desenvolvimento da etapa 3.....</b>	<b>42</b>
4.3.1	Módulos fotovoltaicos.....	42
4.3.2	Bateria.....	43
4.3.3	Controlador de carga.....	44
4.3.4	Inversor de onda senoidal pura.....	44
4.3.5	Determinação dos condutores.....	45
<b>4.4</b>	<b>Desenvolvimento da etapa 4.....</b>	<b>45</b>
4.4.1	Componentes.....	45
<b>4.5</b>	<b>Planta.....</b>	<b>48</b>
<b>4.6</b>	<b>Acionamento do motor.....</b>	<b>51</b>
<b>4.7</b>	<b>Levantamento de componentes.....</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>
	<b>ANEXO A - Características da bateria.....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO B - Dimensões de caixa d'água.....</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXO C - Características do painel fotovoltaico.....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO D - Características do inversor.....</b>	<b>65</b>
	<b>ANEXO E - Características do controlador de carga.....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO F - Tabela de secção de condutores.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ter amplo acesso à energia elétrica é essencial para qualquer população. A disponibilidade desse bem é um importante indicador social vital para o desenvolvimento econômico de um país, pois a qualidade de vida de uma população está conectada à energia elétrica (ECO, 2016).

Um uso muito importante da energia elétrica é para o transporte de água nos centros urbanos, a água precisa ser tratada e distribuída em sistemas de abastecimento, para a realização desse transporte o uso de energia elétrica é indispensável. Para as companhias de água as despesas geradas com energia elétrica dos prestadores de serviços de saneamento, participantes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) atingiram em 2019, o valor R\$ 7,12 bilhões, com consumo de 13,26 [T.W.h], compostos por 11,84 [T.W.h] com abastecimento de água e 1,42 [T.W.h] em esgoto. Apesar do ponto de vista econômico, já que os custos no transporte de água são pagos por tarifas e impostos, do ponto de vista ambiental, o uso de energia sem considerações de eficiência contribui para impactos nas alterações climáticas em escala global (SNIS, 2019).

No Brasil, os primeiros sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados datam de 1981, sendo que no período de um pouco mais que uma década a quantidade estimada de sistemas instalados não passou de 150, porém, graças ao programa de desenvolvimento energético de estados e municípios sendo um dos primeiros projetos feitos para difundir a tecnologia no país, o setor obteve um levantamento nos números de sistemas de bombeamento (FEDRIZZI, 2003).

O crescimento na demanda de água para pequenas famílias e produtores em locais isolados onde a rede convencional e a distribuição de água não chega, gerou um aumento no interesse no uso de sistemas fotovoltaicos para bombeamento, e com o aumento da demanda houve um crescimento em estudos relacionados (SILVA; BASCOPE, 2020).

Sistemas de bombeamento de água alimentados por geração de energia solar fotovoltaica podem ser utilizados em regiões de difícil acesso a fontes hídricas e distribuição de energia elétrica para abastecer comunidades carentes, pode ser aplicado em unidades de agricultura familiar para a irrigação das plantações, também pode ser usado para consumo animal.

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é dimensionar um sistema de bombeamento de água que será alimentado por um sistema de geração de energia fotovoltaico isolado, localizado no campus de Medianeira da UTFPR, que servira como modelo em escala reduzida de aplicação de geração de energia *off-grid*. A metodologia foi dividida em quatro etapas sendo elas determinação dos requisitos hidráulicos, dimensionamento da potência elétrica, dimensionamento do sistema fotovoltaico, e automação do sistema.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo procura contextualizar os sistemas de bombeamento fotovoltaico e apresentar os conceitos que serão utilizados no trabalho.

### 2.1 Estado da arte

Os autores Chilundo, Mahanjane e Neves (2018) falam sobre o uso da tecnologia solar fotovoltaica para sistemas de bombeamento de água, consideram ser uma das formas mais populares de aplicação de energia solar nas últimas décadas em áreas remotas e desérticas, bem como em algumas áreas urbanas. Foi analisada a perspectiva de Moçambique sobre as energias renováveis e a adoção dos sistemas de bombeamento para aumentar a sustentabilidade das comunidades rurais.

No artigo de Sistema de bombeamento de água usando energia fotovoltaica os autores Silva e Bascopé (2020) apresentam o bom desempenho em eficiência de uma topologia de conversor CC-CC boost de alto ganho de tensão baseado na célula de comutação de três estados, servindo como uma alternativa com a possibilidade de uso de um arranjo fotovoltaico com poucos módulos, viável para aplicação em sistemas de bombeamento de água a partir de energia fotovoltaica.

segundo Queiroz *et al.* (2020), mostraram a integração do sistema fotovoltaico de bombeamento com equipamentos agrícolas, utilizando de Sistemas fotovoltaicos de bombeamento com conversor de frequência, o sistema foi monitorado em um dia de sol para identificar o perfil de operação e demonstram que essa configuração é bem adequada para o setor rural.

Os autores Campos, Bezerra e Alcantara (2020) realizaram uma análise sobre a viabilidade técnica e de custos do sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação na agricultura familiar, o artigo mostra que é possível dimensionar um sistema para bombeamento fotovoltaico e irrigação de forma adequada, para que agricultores familiares usem como referência e possam obter pequenos incentivos e financiamentos no atendimento de sua demanda energética e estimular sua produtividade.

### 2.2 Radiação solar

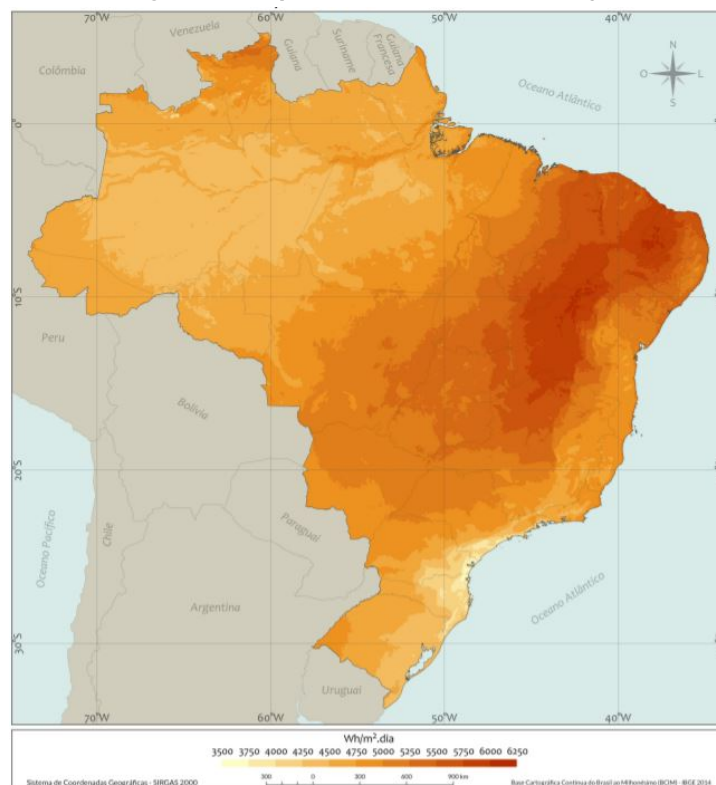
O Sol é a principal fonte de energia do planeta. Ele influencia até mesmo outros tipos de energias renováveis como, a biomassa, da água dos rios, dos ventos e até mesmo os combustíveis fósseis. Anualmente, uma quantidade de energia solar, nas formas de luz e calor, são lançadas sobre a superfície terrestre sendo essa energia suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades mundiais. (VILLALVA, 2012)

Energia solar é a energia proveniente da luz e do calor do Sol, seu uso pode ser empregado em diversas tecnologias como o aquecimento solar, onde a energia solar é transformada em calor dentro de coletores, sendo comum seu uso em aquecedores solares. Já a energia solar fotovoltaica e energia heliotérmica são usadas para converter a energia solar em elétrica. (VICENTIN, 2014).

Adotada como padrão na indústria fotovoltaica para a especificação e avaliação de células e módulos fotovoltaicos, a radiação solar é a grandeza que expressa a energia transportada durante um intervalo de tempo sobre uma área  $\frac{W}{m^2}$ , ou seja, é utilizada para medir a energia liberada pelo sol em uma determinada superfície, sendo o padrão de  $(\frac{kW}{m^2})$  adotado na indústria para medir a eficiência de células e módulos fotovoltaicos. (VILLALVA, 2012)

A irradiância obtida ao longo de um determinado período é denominada insolação, usada para realizar o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. No Brasil as áreas com maior índice de irradiância, em regiões próximas da Linha do Equador conforme a Figura 1, (VILLALVA, 2012).

**Figura 1 – Mapa do total diário de irradiação**



**Fonte: Pereira et al. (2017).**

Na legenda do mapa a cor mais a esquerda apresenta valores de 3500  $(\frac{W}{m^2})$  e cor mais a direita apresenta valores de 6250  $(\frac{W}{m^2})$ . O mapa mostra que os locais com maior potencial de geração solar se encontram na região nordeste (PEREIRA et al., 2017).

De acordo com ANEEL (2005) diversos fatores podem influenciar a irradiância diminuindo a incidência de luz solar sobre a superfície terrestre, o primeiro fator é a latitude sendo

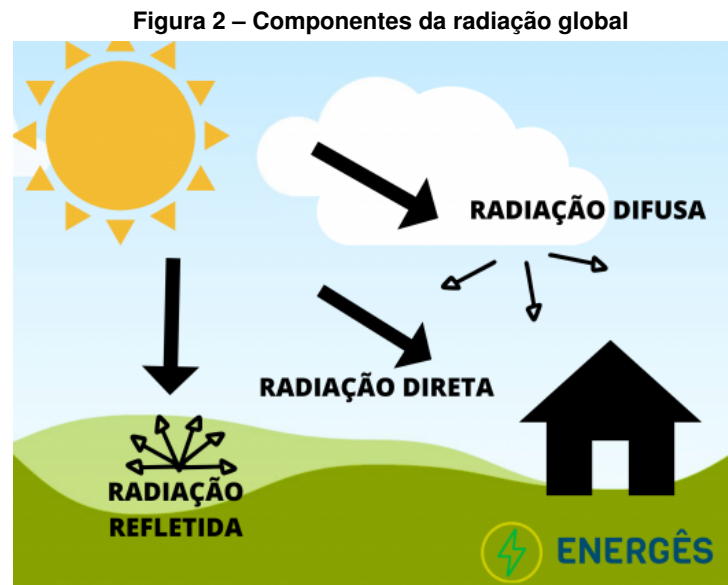
ela a distância com a linha do equador que irá determinar a maior incidência de radiação solar. O território brasileiro possui grande maioria territorial próximo ao equador.

Outro fator que pode interferir na irradiância época do ano é, com o movimento de translação, o nível de radiação no inverno tende a diminuir e no verão aumentar. No Brasil, grande parte da população vive longe da linha do equador, fazendo necessário ajustar o ângulo e posição dos painéis para maior eficiência em determinadas épocas (ANEEL, 2005).

Hora do dia, por ser uma grandeza dependente da presença do sol os períodos do dia irá determinar na maioria os valores de irradiação sendo que os períodos noturnos possuem o menor nível de energia e os períodos próximo ao meio-dia possuem os maiores níveis de energia (ANEEL, 2005).

Sombras geradas por fatores não climáticos, sombras de prédios ou estruturas que bloqueiam ou limitam a chegada de raios solares, entre todos os fatores este pode ser evitado completamente com o planejamento do local de instalação dos módulos fotovoltaicos. Nebulosidade e poluição ambas atrapalham, restringindo por reflexão e dispersão a incidência de radiação solar no local (ANEEL, 2005).

Além da influência desses fatores na radiação solar, ela é classificada dependendo da forma que ela chega em uma superfície conforme apresenta a Figura 2:



Fonte: ENERGÊS (2020).

Radiação direta é a radiação que irá incidir diretamente na superfície sem a interferência da atmosfera, sombras, nuvens, etc. A média anual de radiação direta que chega na superfície terrestre é apenas metade da que passa pela atmosfera, contudo em dias claros o valor de radiação pode chegar em até 70% (VIAN *et al.*, 2021).

Radiação difusa: ao contrário da radiação direta a radiação difusa, foi interceptada e difratada por alguma nuvem ou poeira. Como em dias claros a radiação direta chega em seu valor máximo a radiação difusa será o contrário e terá valor mínimo chegando em até 15% (VIAN *et al.*, 2021).

Radiação refletida: também de chamada albedo ou coeficiente de reflexão é a refletividade difusa de uma superfície seus valores variam segundo a Tabela 1 (VIAN *et al.*, 2021).

**Tabela 1 – Valores típicos de albedo.**

Superfície	Albedo
Água	5-15%
Gramma	15-25%
Terra seca	20-30%
Concreto	25-30%
Areia	30-35%
Neve nova	80-85%

**Fonte: Vian *et al.* (2021).**

A radiação vinda da reflexão de superfícies ou corpos, seu valor depende onde o receptor está localizado, ou seja, a superfície do receptor irá determinar a porcentagem de radiação recebida.

## 2.3 Tecnologia fotovoltaica

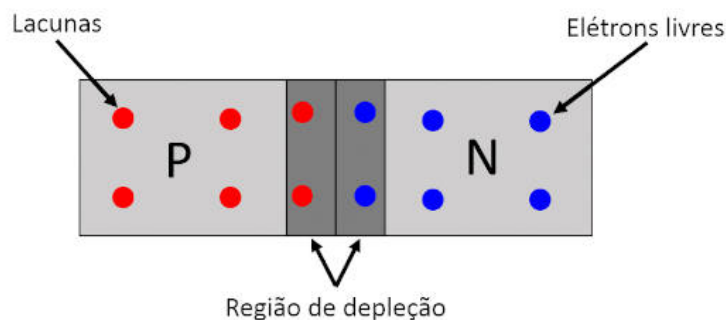
O efeito fotovoltaico possui quase 200 anos desde seu descobrimento pelo físico francês Antoine Henri Becquerel, sua descoberta foi que, a incidência da luz sobre um eletrodo metálico imerso em uma solução química gerava uma tensão elétrica. (VILLALVA, 2012)

O efeito foi relatado por diversos cientistas ao longo dos anos sobre efeitos similares em diferentes semicondutores, até o efeito fotoelétrico ser explicado em 1905 por Albert Einstein e finalmente em 1918, desenvolvido pelo cientista polonês Jan Czochralski um método para fabricar cristais de silício que se tornariam as células fotovoltaicas. (VILLALVA, 2012)

### 2.3.1 Célula fotovoltaica

Uma célula fotovoltaica é um diodo composto tipicamente pela junção de duas camadas de material semicondutor, é a junção de uma cama do tipo "N" outra do tipo "P" (VILLALVA, 2012), conforme ilustra a Figura 3.

**Figura 3 – Junção P-N de um diodo**

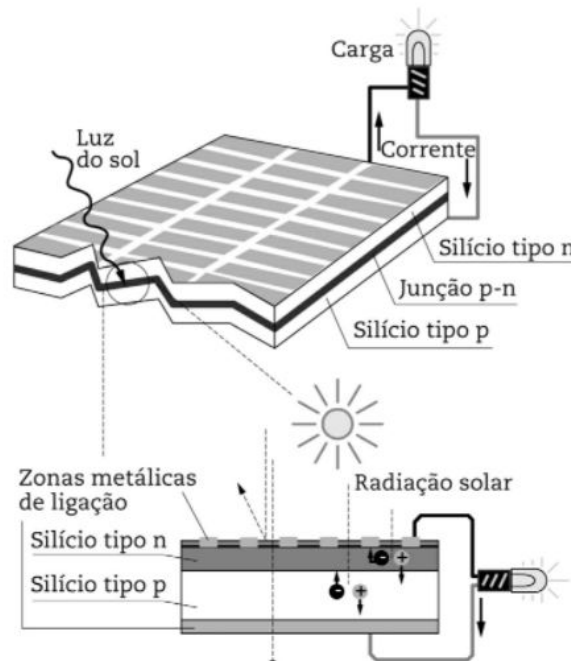


**Fonte: UFRGS (2018).**

O material tipo “N” possui um excedente de elétrons e o material “P” apresenta falta criando uma lacuna, fazendo os elétrons da camada “N” fluírem para a camada “P”, devido a isso, um campo elétrico dentro de uma zona de depleção em que existem poucos portadores de carga surge impedindo a passagem de elétrons enquanto a tensão necessária não for superada (VILLALVA, 2012).

A conversão de luz em energia elétrica ocorre devido à camada superior de material “N” de uma célula fotovoltaica é fina o bastante para que a luz consiga penetrar nesse material e descarregar energia sobre os elétrons, dando-lhes energia suficiente para vencer a barreira de potencial e podendo mover-se entre as camadas, com a adição de placas metálicas em cada lado da junção e nestas placas conectar um condutor irá gerar corrente elétrica (VILLALVA, 2012), a Figura 4 mostra o processo de conversão de radiação solar em potencial elétrico.

**Figura 4 – Representação do processo de conversão fotovoltaica**



Fonte: Zilles *et al.* (2012).

O componente que converte a energia solar em elétrica, ou seja, as células que compõem o módulo são comumente feitas com os seguintes materiais: silício cristalino (c-Si), o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou a-Si), telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio (CuInSe<sub>2</sub> ou CIS e Cu(InGa)Se<sub>2</sub> ou CIGS). Dependendo do material escolhido a eficiência da conversão de energia irá mudar (RÜTTER, 2004), conforme mostra a Tabela 2.



**Tabela 2 – Comparação da eficiência das tecnologias de células fotovoltaicas.**

Material da célula fotovoltaica	Eficiência Célula Laboratório	Eficiência Célula Comercial
Silício Monocristalino	24,7%	18%
Silício Policristalino	19,8%	15%
Silício Crist. de filme fino	19,2%	9,5%
Silício Amorfo	13%	10,5%
Silício micromorfo	12%	10,7%
Célula solar híbrida	20,1%	17,3%
CIS, CIGS	18,8%	14%
Telureto de cádmio	16,4%	10%

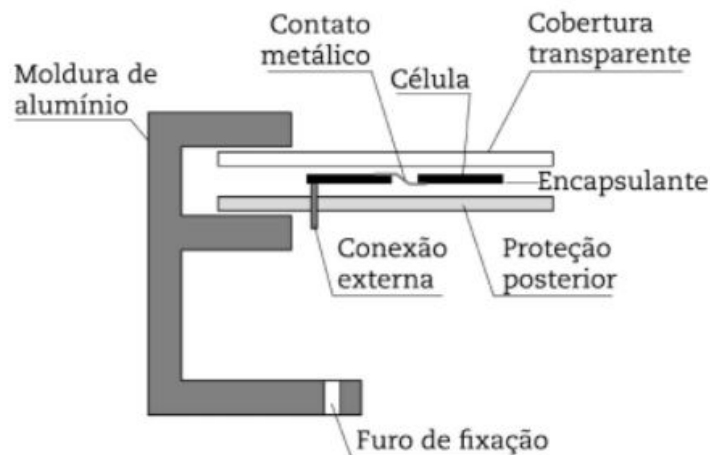
Fonte: adaptado de Villalva (2012).

### 2.3.2 Módulos Fotovoltaicos

Um módulo fotovoltaico é resultado do agrupamento de diversas células fotovoltaicas, pois a energia gerada por cada célula é insignificante de forma individual, de forma que com o agrupamento a energia gerada é suficiente para alimentar pequenas cargas (MARANGONI, 2012).

A Figura 5 exhibe como o encapsulamento é feito com a intenção de proteger as células fotovoltaicas contra danos externos. Além de proteger as células fotovoltaicas, o módulo também tem a função de isolar eletricamente e fornecer rigidez mecânica. O módulo é composto por pequenas tiras conectando as células, um material encapsulante sobre as células, um vidro temperado e anti-reflexivo, uma cobertura posterior de poli fluoreto de vinila, por uma caixa de conexões e finalmente por uma estrutura metálica para sustentação (ZILLES *et al.*, 2012).

**Figura 5 – Detalhes de corte transversal de um módulo fotovoltaico**



Fonte: Zilles *et al.* (2012).

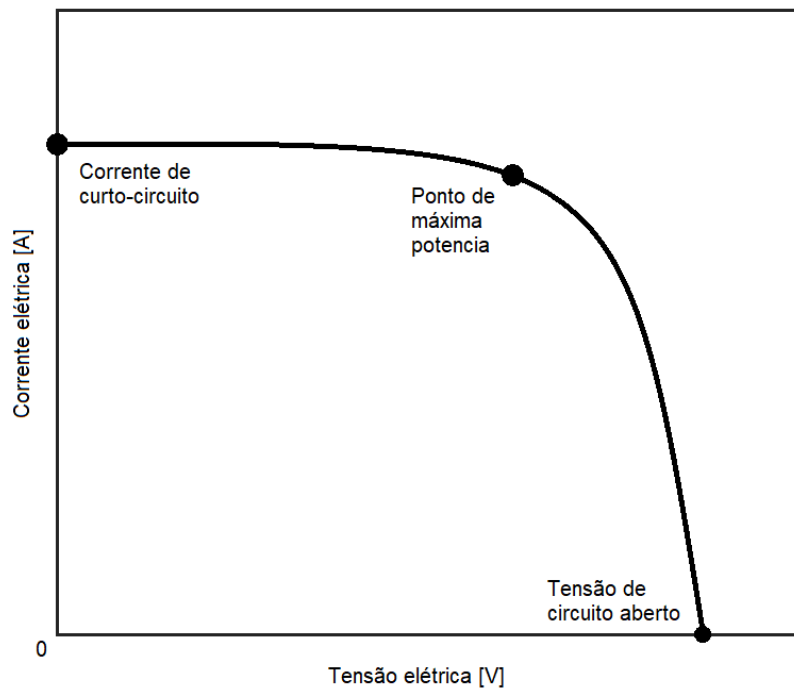
A ligação série ou paralelo dos módulos determina respectivamente a tensão e corrente gerada pelo sistema, já a potência gerada será determinada pela quantidade de módulos presentes (RÜTTER, 2004).

### 2.3.3 Características Elétricas

A excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar é o que ocorre no efeito fotoelétrico. Já o efeito termoelétrico ocorre devido a uma diferença de potencial gerada pela diferença de temperatura entre a junção de dois metais (RÜTTER, 2004).

Segundo Villalva (2012), os valores de tensão e corrente são dependentes das cargas que serão alimentadas, ou seja, uma carga com alta demanda de tensão produzirá uma corrente baixa e uma carga com alta demanda de corrente irá gerar uma tensão baixa. A Figura 6 apresenta a relação entre tensão e corrente nos módulos fotovoltaicos, nela há presença de 3 pontos, corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto e o ponto de máxima potência.

**Figura 6 – Ponto de máxima potência**



**Fonte: adaptado de Villalva (2012).**

**Corrente de curto-circuito:** situação que ocorre quando os terminais do módulo estão em curto-circuito, quando ocorre a corrente é máxima e por consequência a tensão é nula.

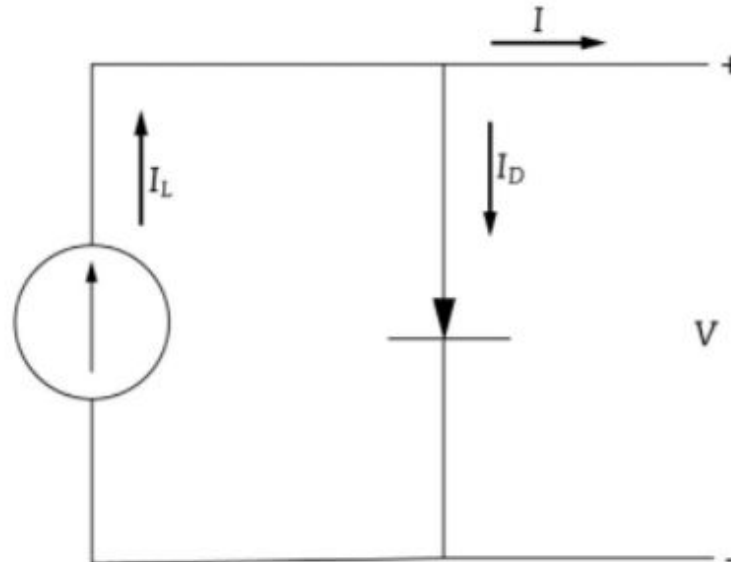
**Tensão de circuito aberto:** é a tensão medida na saída quando não há nada conectado no módulo além do medidor, ou seja, a máxima tensão fornecida.

**Ponto de máxima potência:** é o ponto único e ideal para uso, pois nele é onde se encontra a máxima energia fornecida pelo módulo.

Os níveis de irradiação solar e temperatura afetam a energia gerada, no caso a corrente é diretamente dependente da intensidade da radiação solar que atinge o módulo fotovoltaico, já a temperatura afeta diretamente a tensão gerada de forma que quanto maior a temperatura menor a tensão (VILLALVA, 2012).

Em teoria, a célula fotovoltaica ideal é uma fonte de corrente onde seus valores de pico na saída, apesar de serem afetados pela temperatura são dependentes na maioria da irradiação que incide sobre a célula (ZILLES *et al.*, 2012). O circuito equivalente de uma célula fotovoltaica é apresentado na Figura 7.

**Figura 7 – Circuito equivalente ideal de uma célula fotovoltaica**



Fonte: adaptado de Zilles *et al.* (2012).

A geração de eletricidade em um painel fotovoltaico requer um ajuste contínuo de sua carga devido aos efeitos climáticos, de modo a obter o máximo possível de potência do painel, o ponto de máxima potência é o ponto onde o ganho de potência é o maior possível, sendo esse único para cada condição de irradiação e temperatura (MARANGONI, 2012).

## 2.4 Sistema fotovoltaico

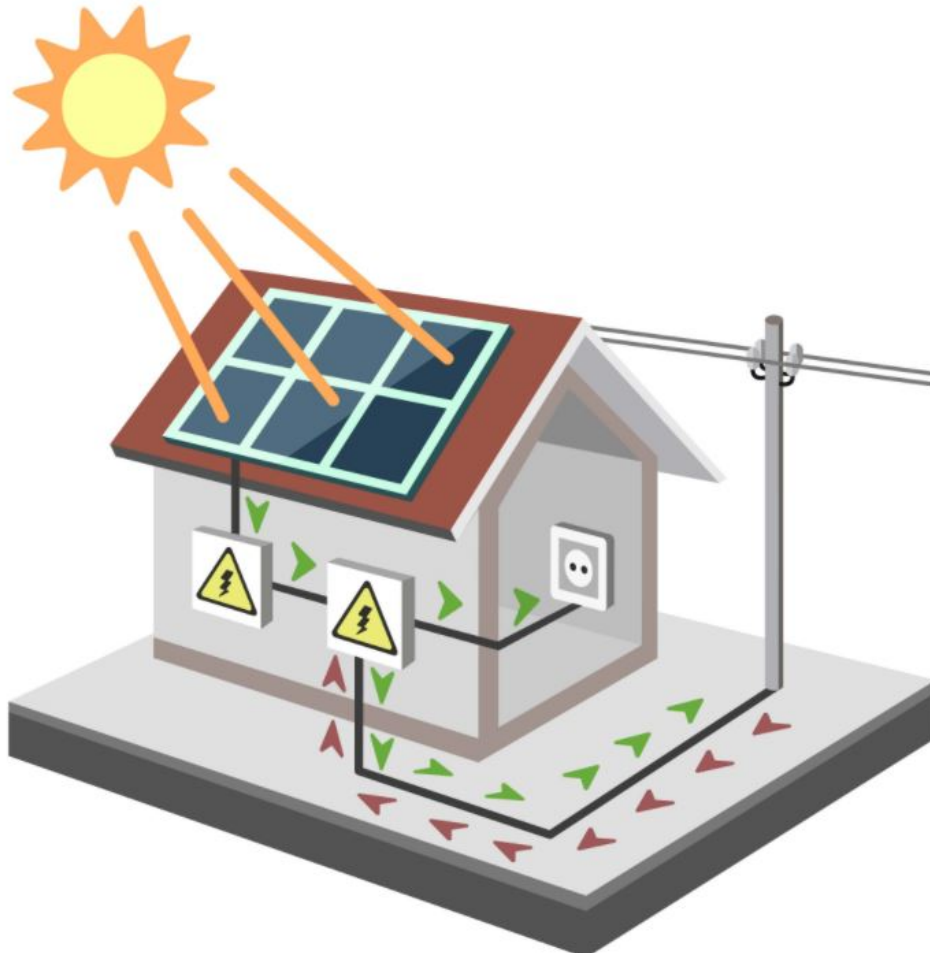
Sistemas isolados foram as primeiras aplicações da tecnologia fotovoltaica com o intuito de suprir cargas fora da cobertura das redes convencionais, até que o programa japonês de incentivos aos pequenos geradores fotovoltaicos fez com que sistemas fotovoltaicos conectados à rede passassem a ocupar um lugar crescente entre as aplicações da tecnologia. (ZILLES *et al.*, 2012).

### 2.4.1 Classificação de sistemas fotovoltaicos

De acordo com Pinho e Galdino (2014) um sistema fotovoltaico pode ser classificado de duas formas sendo elas determinadas conforme a seguir:

Sistemas Ligados à Rede (*on grid*): o sistema será considerado conectado em rede quando o sistema fotovoltaico estiver conectado como uma fonte complementar a geração convencional conforme mostra a Figura 8 (PINHO; GALDINO, 2014).

**Figura 8 – Sistema Ligados à Rede**



Fonte: bluesol (2017).

Normalmente esse sistema por estar conectado a rede convencional não é utilizado componentes para armazenar carga. Também por estar conectado a rede é necessário estar nos devidos padrões impostos para qualidade e segurança exigidos pela concessionária (PINHO; GALDINO, 2014).

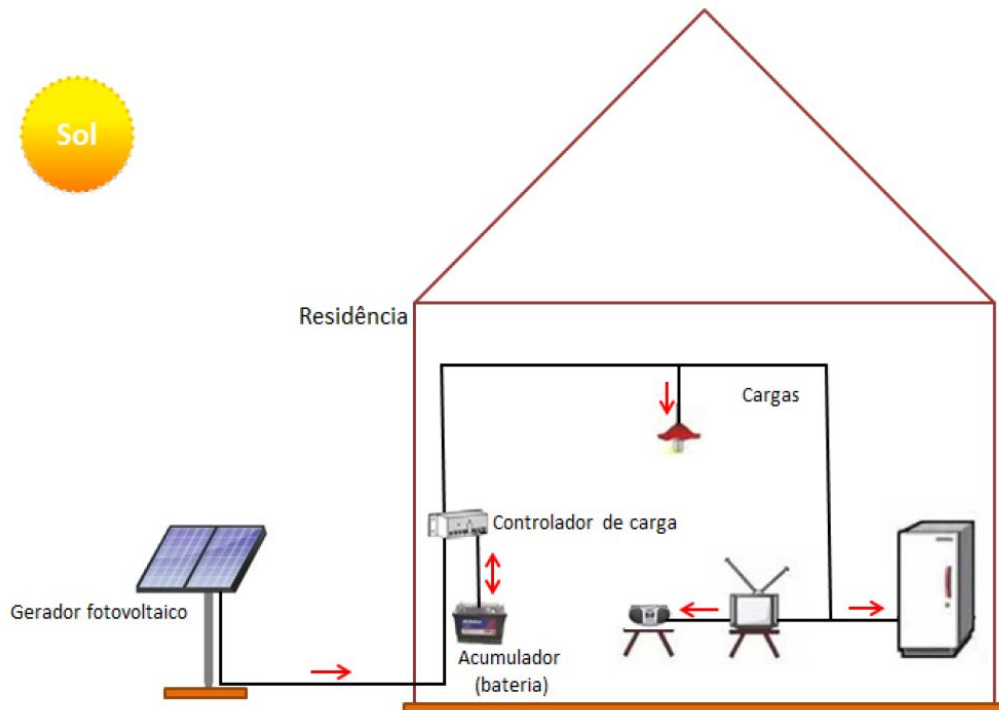
Sistemas fotovoltaicos Híbridos: pode ser considerado uma subcategoria de sistema autônomo, quando há necessidade de outra fonte de energia além da fotovoltaica, podendo ser gerador a diesel ou eólica. São mais complexos, pois para entregar a energia de forma confiável necessitam de um sistema de controle para regular a energia. (VICENTIN, 2014)

Sistemas fotovoltaicos Autônomos ou Isolado (*off-grid*): quando um sistema está fora da rede ele é classificado como um sistema autônomo ou isolado (*off grid*), sua aplicação é mais utilizada em locais onde a rede convencional de energia não alcança ou possui inconveniências para a ligação do equipamento. Zonas rurais comumente estão longe das redes convencionais e são dependentes de geradores (FEDRIZZI, 2003).

Os sistemas isolados podem ainda ser divididos em duas subcategorias, sendo eles isolados individuais e minirredes. No primeiro caso, a energia é somente para uma unidade consumidora, já no segundo caso, a produção é compartilhada entre unidades consumidoras próximas. (PINHO; GALDINO, 2014)

A desvantagem dos sistemas fotovoltaicos é a necessidade de luz solar para geração, o que torna dias nublados e períodos noturnos mais longos gera incômodos para o sistema fornecer energia constante. Por isso, a adição de baterias conforme a Figura 9 deve garantir a confiança dos sistemas fotovoltaicos isolados, proporcionam assim uma alternativa sustentável à falta de redes de energia elétrica em regiões mais remotas graças ao seu baixo custo de manutenção em relação aos geradores a óleo diesel (VICENTIN, 2014).

**Figura 9 – Diagrama simplificado do sistema fotovoltaico domiciliar ligado em CC**



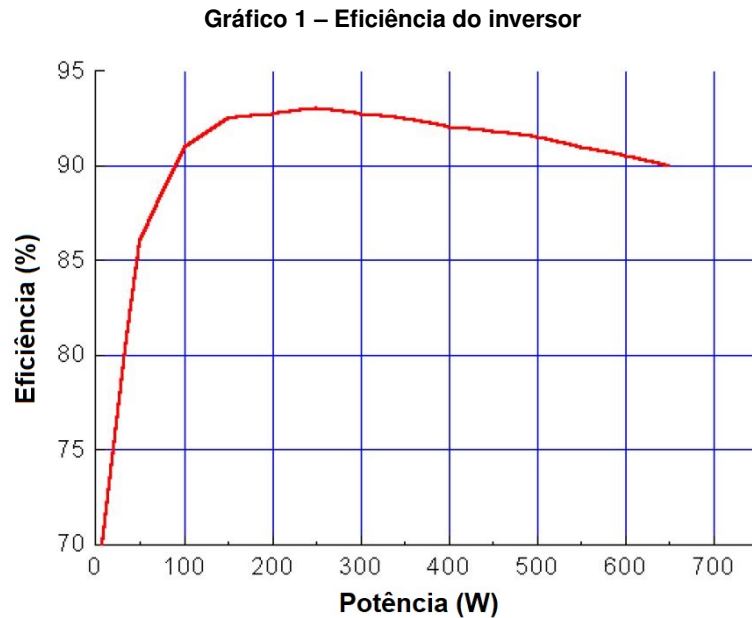
**Fonte: Pinho e Galdino (2014).**

#### 2.4.2 Inversor

Para dispositivos que usam de corrente alternada (CA), o inversor é uma parte fundamental do sistema de geração fotovoltaica, inversores são dispositivos sem partes móveis que convertem corrente contínua (CC) em CA, o que deve considerar na escolha de um inversor é seus valores de entrada de tensão e corrente, além da máxima potência suportada que para o sistema tenha o melhor ganho deve seguir uma relação entre potência e eficiência do inversor (ZILLES *et al.*, 2012).

Na relação da variação de potência em relação à eficiência, o conjunto de módulos fotovoltaicos com potência total inferior à potência máxima do inversor, permite uma eficiência

melhor evitando perdas desnecessárias com super dimensionamento. Isso diz que eficiência do inversor é de alta importância, pois pequenas diferenças mesmo que de 1% pode resultar em perdas ou ganhos de 10% na energia gerada durante o período de um ano. (RÜTTER, 2004), conforme apresenta a Gráfico 1.



Fonte: Rütter (2004).

Segundo Rütter (2004), o conjunto de módulos fotovoltaicos com potência total inferior à potência máxima do inversor, permite uma eficiência melhor evitando perdas desnecessárias com super dimensionamento.

#### 2.4.3 Acumulador de carga

A vida útil da bateria depende do material que a compõem. No caso as baterias de chumbo ácido estacionárias Figura 10 são as mais comuns sendo parecidas com baterias automotivas (VILLALVA, 2012).

**Figura 10 – Aspecto de uma bateria estacionária de chumbo ácido com eletrólito líquido**

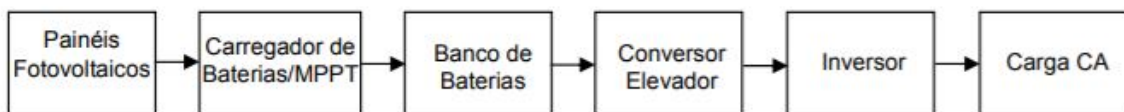


Fonte: secpower (2020).

Porém, ao contrário das baterias automotivas que oferecem grande intensidade de corrente por curtos períodos as baterias de chumbo ácido com eletrólito líquido conseguem gerar correntes constantes por longos períodos, isso é devido às placas metálicas que compõe a bateria são mais grossas comparadas com as automotivas (VILLALVA, 2012).

No caso das baterias estarem ligadas em série ao fluxo de energia, conforme mostra a Figura 11, o carregador de baterias procura o ponto de máxima potência dos módulos fotovoltaicos e ajusta a tensão para a carga das baterias, em seguida o conversor elevador irá ajustar a tensão das mesmas conforme à necessidade do inversor CA (SEGUEL, 2009).

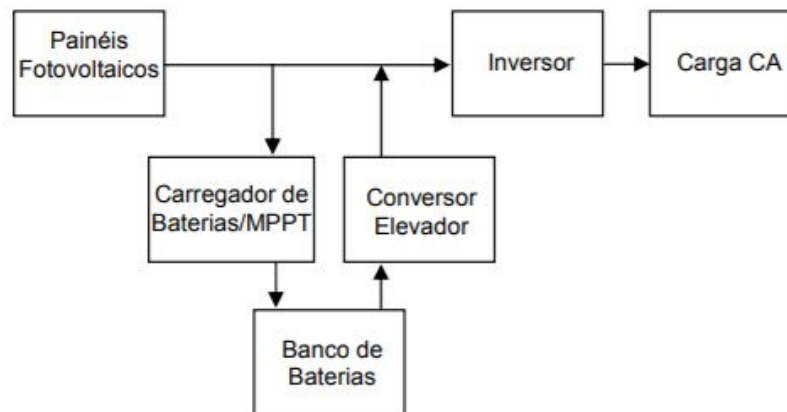
**Figura 11 – Diagrama de blocos de um sistema ligado em série**



Fonte: SEGUEL (2009).

Caso as baterias estejam ligadas em paralelo ao fluxo de energia, conforme mostra a Figura 12, o acumulador de carga será acionado apenas quando a energia gerada é insuficiente (SEGUEL, 2009).

**Figura 12 – Diagrama de blocos de um sistema ligado em paralelo**



Fonte: SEGUEL (2009).

Neste caso custo de manutenção é menor comparado com a configuração série, pois o fluxo de energia só passará pelo banco de baterias quando este estiver carregando ou suprindo o sistema (SEGUEL, 2009).

#### 2.4.4 Controlador de carga

Segundo Villalva (2012), um sistema fotovoltaico que utiliza baterias é obrigado a empregar um controlador de carga, para evitar o desgaste da bateria o dispositivo faz a conexão entre a bateria e o painel fotovoltaico realizando as seguintes funções:

Proteção de sobrecarga: baterias de chumbo ácido estacionárias chegam em carga completa quando a bateria atinge tensão entre 14,4 V e 15,5. O controlador de carga irá impedir que a bateria seja sobrecarregada, desconectando o painel solar do sistema quando a bateria atinge seu nível máximo(VILLALVA, 2012).

Proteção de descarga excessiva: caso a bateria seja continuamente descarregada abaixo da tensão de ponto crítico o consumo de energia será interrompido, isso ocorre para evitar o comprometimento da vida útil da bateria(VILLALVA, 2012).

Gerenciamento da carga da bateria: certos controladores de carga possuem capacidade para gerenciar o carregamento das baterias em diferentes estágios de carregamento. No 1º Estágio de carregamento pesado, nesse primeiro estágio a corrente é levada ao limite de corrente suportado pelo controlador de carga, com o intuito de carregar a bateria da forma rápida, 2º chamado estágio de absorção, nele a tensão da bateria é mantida constante pelo controlador de carga e a corrente da bateria vai diminuindo lentamente, 3º chamado Estágio de flutuação, nesse o controlador apenas mantém a bateria carregada, controlando sua tensão na faixa compreendida (VILLALVA, 2012).

## 2.5 Recursos hídricos

Segundo ANA (2020) as parcelas retiradas de água para uso são classificadas como retorno e consumo. No retorno, como o nome diz, é a água que retorna aos corpos hídricos após a retirada e no consumo, é a água que não irá retornar de forma direta aos corpos hídricos. No Brasil, o maior consumo de água é direcionado para irrigação compondo 66,1%, em seguida para o abastecimento humano e animal, indústria, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, recreação e lazer. A Gráfico 2 denota a relação de água consumida no Brasil com suas respectivas atividades.



**Gráfico 2 – Total de água consumida nas bacias hidrográficas em 2019**



Fonte: ANA (2020).

Segundo ANA (2020) o crescente uso de água está relacionado diretamente ao desenvolvimento econômico e o processo de urbanização, com aumento estimado de cerca de 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas, sendo ser previsto que a retirada aumente em 23% até 2030. A Gráfico 3 manifesta a relação de retirada de água no Brasil.

**Gráfico 3 – Total de água retirada nas bacias hidrográficas em 2019**



Fonte: ANA (2020).

## 2.6 Bombeamento fotovoltaico

A definição de um sistema de bombeamento fotovoltaico (SBFV) segundo Mergoul, Larabi e Barhdadi (2018), é um sistema que leva água de seu ponto de origem ao ponto de uso e/ou armazenamento utilizando de tecnologia que transforma luz solar em energia elétrica para abastecer uma bomba, seus usos mais comuns são em Bombeamento de água residencial. Bombeamento de água para pequenas comunidades. Bombeamento de água para consumo animal e Bombeamento de água para irrigação.

### 2.6.1 Motobomba

Bombas são máquinas geratrizes que transformam trabalho mecânico, podendo ser fornecido por um motor ou alguma outra fonte de energia mecânica, em energia, sendo então transmitida para o líquido na forma de pressão e energia cinética para ser possível realizar o deslocamento do líquido. Bombas que realizam este processo são classificadas como máquinas geratrizes (MACINTYRE, 1997).

### 2.6.2 Motor

Motor de corrente alternada: são os motores mais utilizados devido ao seu baixo preço e possuir uma alta variedade de aplicações, porém para o uso em sistema fotovoltaicos é necessário o uso de um inversor. Com o inversor o custo economizado na compra do motor pode não ser mais tão vantajoso, pois além do custo adicional ocorre uma perda de carga devido equipamento extra, podendo não ser vantajoso para sistemas de pequeno porte (FEDRIZZI, 1997).

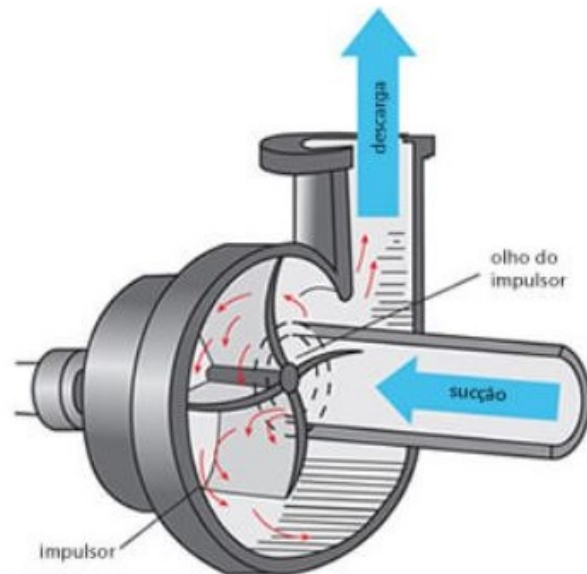
Motor de CC com escova: são mais eficientes que motores CA, seu uso é indicado para poços rasos e são altamente compatíveis com a tecnologia fotovoltaico por utilizarem a corrente CC gerada pelos módulos, porém tem um custo muito maior e necessitam de manutenções periódicas além da troca de escovas devido a desgastes (FEDRIZZI, 1997).

Motor de CC sem escova: não precisam da troca de escovas e manutenções periódicas o que faz mais eficiente que motores CC com escova, porém possui uma maior porcentagem de falha devido aos componentes eletrônicos (FEDRIZZI, 1997).

### 2.6.3 Bomba

Bomba centrífuga: quando a aplicação demanda grandes volumes de água e baixa altura manométrica essa classe será a mais indicada. Nessa classe de bomba a vazão d'água é dependente da corrente elétrica, ou seja, como a corrente fornecida pelos módulos fotovoltaicos é dependente da irradiação, quanto maior a irradiação fornecida maior a vazão, ou ao contrário quanto menor a radiação menor o caudal conforme a Figura 13 (PINHO; GALDINO, 2014).

**Figura 13 – funcionamento de uma bomba centrífuga**



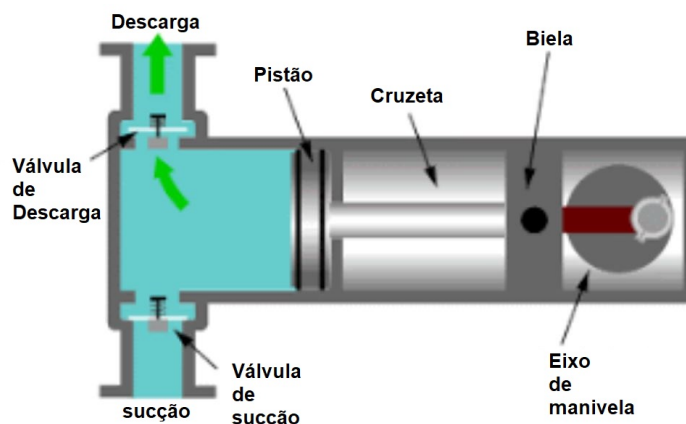
Fonte: Degraus (2019).

As pás girantes transferem energia centrífuga para o líquido através de impulsores, isso gera uma pressão que resulta em um fluxo de bombeamento. (DEGRAUS, 2019).

Dentro desse modelo de bomba possui duas classes sendo elas: “submersa”, nesse caso a bomba opera na água e de “superfície” que utiliza de um tubo para sugar a água (PINHO; GALDINO, 2014).

Bomba volumétrica: indicada para volumes d’água moderados e altura manométricas elevadas, sua eficiência aumenta quanto maior for a altura manométrica e, como principal vantagem, ser que a vazão não é dependente da altura, a Figura 14 mostra o funcionamento da bomba (PINHO; GALDINO, 2014).

**Figura 14 – funcionamento de uma bomba volumétrica**



Fonte: Adaptado de goconqr (s.d.).

O líquido é bombeada por pistões, que fazendo movimentos cria pressão, forçando o deslocamento do líquido, mesmo com nível da irrigação baixo, a capacidade de levar a água a altura elevadas não será alterada (PINHO; GALDINO, 2014).

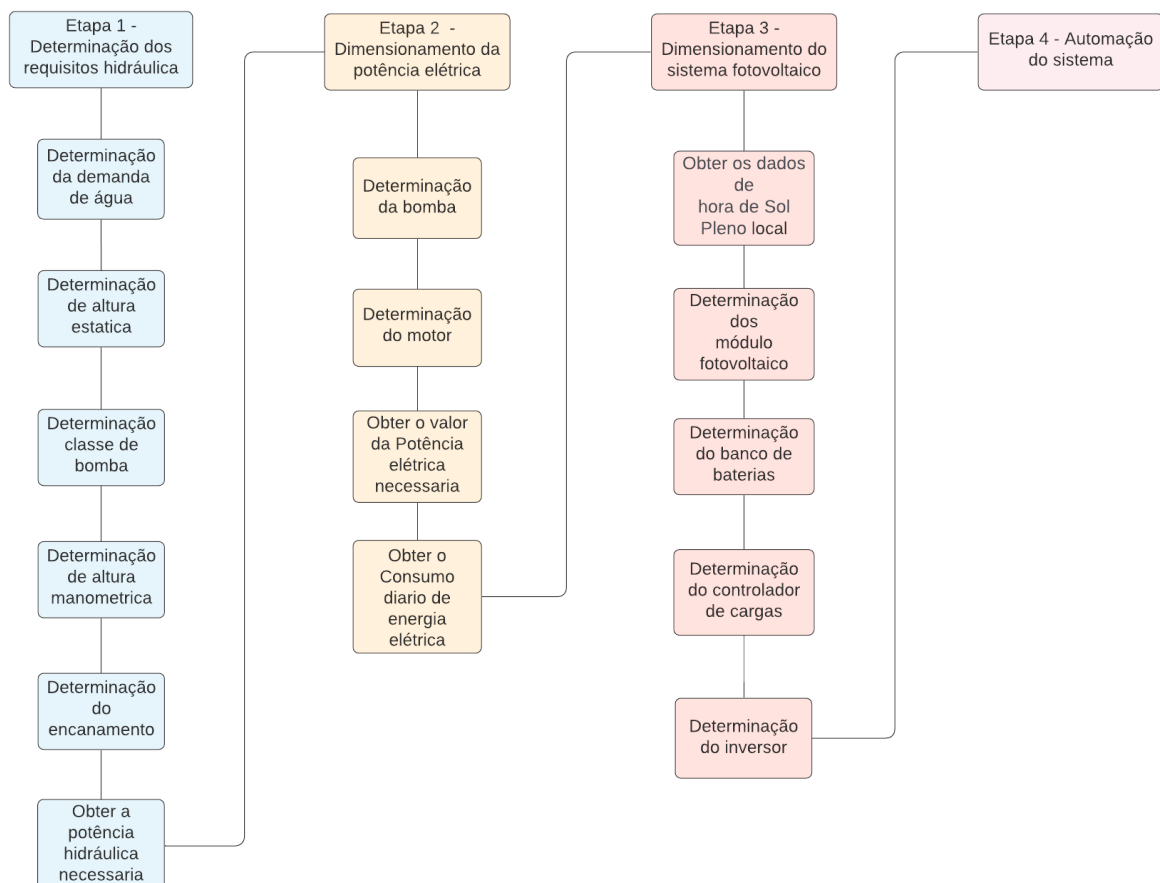
### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia para a realização dos cálculos para o dimensionamento do sistema de bombeamento de água alimentado por um sistema de geração fotovoltaico isolado.

#### 3.1 Dimensionamento de sistema fotovoltaico aplicado a bombeamento

De acordo com Fedrizzi (2003), os parâmetros necessários para realizar o dimensionamento de um sistema de bombeamento fotovoltaico são a demanda de água, a vazão, altura manométrica e disponibilidade de recurso solar. A partir deles é possível obter o diâmetro dos canos e o número de painéis fotovoltaicos necessários para manter o sistema. As etapas a serem seguidas para o dimensionamento do sistema são apresentados pela Figura 15.

**Figura 15 – Fluxograma com os passos para realização do trabalho.**



Fonte: Autoria própria (2022).

## 3.2 Etapa 1

Nesta primeira etapa foi realizado a determinação da demanda hidráulica, ou seja, a vazão necessária para suprir o depósito de água durante o dia e a altura manométrica que o sistema deverá possuir, na sequência foi determinado o diâmetro do cano, e com todos os parâmetros determinados foi calculada a potência hidráulica necessária para mover o líquido entre o reservatório inferior ao superior.

### 3.2.1 Determinação de demanda

A demanda hidráulica da instalação é o primeiro parâmetro estimado para o dimensionamento do sistema, nela é considerado a quantidade de água que deverá ser abastecida no período de funcionamento do sistema, sendo que diversos fatores podem fazer parte da criação de uma instalação para o abastecimento de água, alguns deles são finalidade do uso (irrigação, consumo humano ou animal), disponibilidade do recurso, topologia, etc. (HELLER; PÁDUA, 2006).

### 3.2.2 Diâmetro da tubulação

A fórmula de Bresse é a mais comumente utilizada para determinação do diâmetro de tubulações  $D_r$ . Para condição de sistemas que operam de forma contínua dada pela Equação 1, onde  $K$  é o coeficiente que varia em função dos custos de investimento e operação e  $Q$  a vazão demandada (MACINTYRE, 1997).

$$D_r = K\sqrt{Q} \quad (1)$$

Como o sistema de bombeamento fotovoltaico depende da radiação local, o que o faz um sistema muito variável, e o valor de  $K$  depende de diversas variáveis que envolvem o projeto sendo dado pela Equação 2, onde  $T$  é o período de funcionamento da bomba em horas (JUSTINO; NOGUEIRA, 2017).

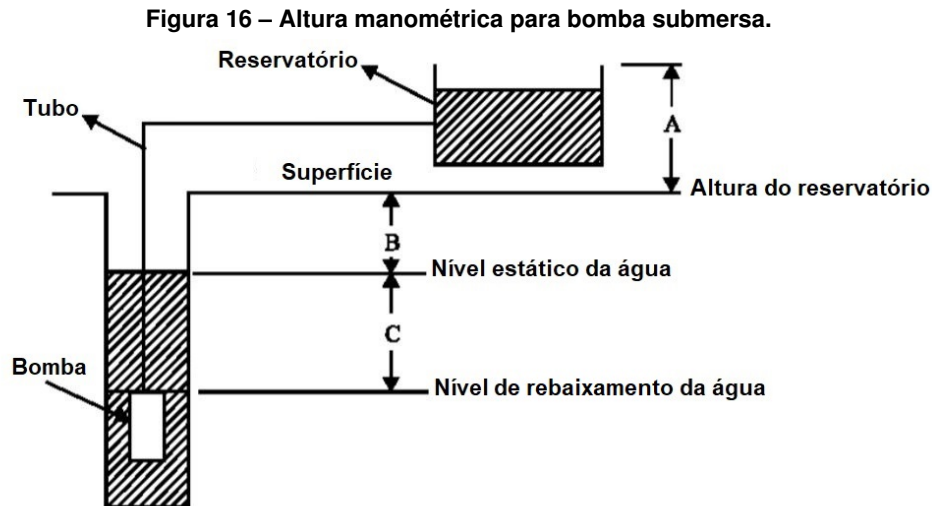
$$K = 1,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{T}{24}} \quad (2)$$

Como o tamanho do diâmetro calculado na Equação 1 não coincide com nenhum padrão comercial, foi escolhido um tamanho maior ou menor contanto que esteja nos valores obtidos na Equação 3 de velocidade econômica, sendo que os valores da velocidade  $v$ , obtido com o novo diâmetro da tubulação esteja entre 0,5 e 4,0 m/s (JUSTINO; NOGUEIRA, 2017).

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_r^2} \quad (3)$$

### 3.2.3 Determinação da altura manométrica do sistema

O desempenho da configuração considerou as características do local de instalação do sistema, um exemplo se aplica na escolha da bomba, dependendo da altura manométrica e da posição dos recursos hídricos a escolha da classe da bomba será afetada. No caso, os parâmetros a serem considerados para determinação da altura manométrica  $H_m$  de uma bomba são revelados na Figura 16.



Fonte: Adaptado de Khatib (2010).

A Figura 16 possui componentes estáticos e componentes dinâmicos, na parte estática tem como valores a altura entre a superfície d'água e da superfície ao ponto de descarga, respectivamente os pontos  $B$  e  $A$ , compõem a cabeça de pressão estática. Já na parte dinâmica devido a perdas de fricção nos tubos dado como  $h_p$  e a queda do nível d'água dado como  $C$ , ambos causados pelo bombeamento (GHONEIM, 2006). A altura manométrica é dada conforme a Equação 4

$$H_m = A + B + C + h_p \quad (4)$$

As perdas  $h_p$  foram calculadas considerando que as perdas em um tubo de seção circular dependem do comprimento, diâmetro interno, rugosidade e velocidade conforme a Equação 5 (GHONEIM, 2006).

$$h_p = \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \cdot \left( \frac{f \cdot L}{D} + K_L \right) \quad (5)$$

Em que,  $L$  é o comprimento da tubulação [m];  $D$  é o diâmetro interno da tubulação [m];  $v$  é a velocidade média do fluido [ $m \cdot s^{-1}$ ];  $g$  é a aceleração da gravidade [ $m \cdot s^{-2}$ ];  $f$  é o fator de atrito;  $K_L$  é o coeficiente de perda de carga.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas de 1998, na norma 5626 é determinado que as perdas de carga de um hidrômetro podem ser estimadas pela seguinte Equação 6.

$$\Delta h = (36.Q)^2 \cdot (Q_{max})^{-2} \quad (6)$$

Em que,  $\Delta h$  são as perdas de carga [m];  $Q_{max}$  é a vazão máxima especificada para o hidrômetro [ $m^3.h^{-1}$ ].

Segundo Ghoneim (2006), o valor de  $f$  pode ser definido com a Equação 7.

$$f = 0,0055 \cdot \left( 1 + \left( 2000 \cdot \frac{\varepsilon}{D} + \frac{10^6}{Re} \right) \right) \quad (7)$$

Em que os coeficientes da equação:  $\varepsilon$  é o fator de rugosidade da tubulação [mm];  $Re$  é o número de Reynolds.

Segundo Ghoneim (2006) o valor do número de Reynolds  $Re$  pode ser obtido com a Equação 8.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (8)$$

Onde  $\nu$  é a viscosidade da água [ $m^2.s^{-1}$ ].

### 3.2.4 Determinação potência hidráulica

Após obtida a demanda de água, considerando a finalidade e as necessidades do usuário, foi calculada a potência hidráulica  $P_H$  (kW) pela Equação 9,

$$P_H = g \cdot \rho \cdot Q \cdot H_T \quad (9)$$

Sendo, a potência hidráulica  $P_H$  é dada em função da altura manométrica total do sistema  $H_T$  [m] e da vazão  $Q$  [ $m^3.h^{-1}$ ].

## 3.3 Etapa 2

Na segunda etapa foi determinada a motobomba, por meio de consulta a catálogo em seguida foi feito o cálculo da potência elétrica necessária e por fim, o cálculo do *Net Positive Suction Head (NPSH)* para garantir que a bomba não sofra do efeito de cavitação.

### 3.3.1 Determinação Motobomba

A escolha da bomba foi feita por meio do catálogo fornecido pelo fabricante de bombas para suprir as necessidades de vazão de altura manométrica, o mesmo deve ser feito na escolha do motor, após a determinação dos equipamentos, é calculado a potência elétrica requerida com a relação de  $P_H$  e  $\eta_m$  (JENKINS, 2014). Conforme demonstra a Equação 10.

$$P_{EL} = \frac{P_H}{\eta_m} \quad (10)$$

A Tabela 3 demonstra valores de eficiência em sistemas de bombeamento fotovoltaico para algumas categorias de motobomba.

**Tabela 3 – Eficiência em sistemas de bombeamento fotovoltaico.**

Tipo de Motobomba	$\eta_m$ (%)
Centrífuga de Superfície	15-25%
Submersa	25-35%
Deslocamento Positivo	35-45%

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

O ( $NPSH$ ) refere-se como à “carga energética líquida disponível na instalação para permitir a sucção do fluido”, a análise dos  $NPSH$  disponível e requerido servem para evitar o fenômeno de cavitação, onde normalmente chega a ocorrer durante o bombeamento em regiões de baixa pressão do recalque. Os efeitos desse fenômeno provocam desgastes no rotor da bomba devido às contínuas explosões de bolhas de água nos mesmos locais (JUSTINO; NOGUEIRA, 2017). O cálculo do  $NPSH$  disponível é dado pela Equação 11.

$$NPSH_{disp} = H_{atm} - \left[ \pm H_s + H_v + \Delta H + \frac{v^2}{2.g} \right] \quad (11)$$

Em que,  $H_{atm}$  é pressão atmosférica local [ $m$ ];  $H_s$  é a altura de sucção (negativa quando afogada) [ $m$ ];  $H_v$  é a pressão de vapor do fluido em função da temperatura [ $m$ ];  $\Delta H$  são as perdas de sucção [ $m$ ].

Após o cálculo do  $NPSH$  disponível, foi necessário comparar com  $NPSH$  requisitado, obtido por tabela do fabricante, a comparação é feita de forma que  $NPSH$  disponível seja maior que o  $NPSH$  requisitado para que o efeito de cavitação não ocorra devido à sucção insuficiente (JUSTINO; NOGUEIRA, 2017).

## 3.4 Etapa 3

Na etapa 3, com a potência elétrica obtida na etapa anterior, foi calculada a energia consumida no período de funcionamento do sistema para obter o número de módulos fotovoltaicos



necessários, em seguida foi determinado o banco de baterias e o controlador de carga e por fim a escolha do inversor.

### 3.4.1 Determinação dos módulos fotovoltaicos

Antes de determinar o módulo fotovoltaico foi necessário conhecer o consumo diário de energia consumido pelo sistema. Para determinar a energia consumida pelo sistema foi necessário conhecer a carga do sistema e a quantidade de horas de operação, conforme a equação Equação 12.

$$E_{cons} = P_{ele} \cdot T \quad (12)$$

Com o consumo diário determinado, pode-se escolher as características do módulo fotovoltaico como a área do módulo e eficiência. Para isso a radiação solar diária média de cada mês foi obtida por meio do banco de dados do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) conforme a Tabela 4.

**Tabela 4 – Irradiação solar diária média mensal.**

Mês	Maior média anual ( $\frac{kWh}{m^2}$ )
Janeiro	5,85
Fevereiro	5,63
Março	5,48
Abril	4,81
Maió	4,00
Junho	3,61
Julho	3,84
Agosto	4,79
Setembro	4,63
Outubro	5,24
Novembro	5,71
Dezembro	5,94

Fonte: adaptado de CRESESB (2018).

Foram utilizadas as coordenadas de latitude 25.300019° sul e longitude 54.114444° oeste, sendo um ponto localizado na área da UTFPR campus de Medianeira. Os dados do componente foram obtidos de *datasheet* fornecidos pelos fabricantes. Com isso é possível calcular a energia gerada por cada unidade de módulo por meio da Equação 13.

$$E_g = HSP \cdot A_m \cdot \eta_m \quad (13)$$

Em que,  $HSP$  é a insolação diária;  $A_m$  é a área da superfície do módulo;  $\eta_m$  é a eficiência do módulo.

Com ambos, o consumo diário de energia produzida foi possível determinar a quantidade  $N$  de módulos necessários para suprir o sistema através da razão das duas energias, conforme Equação 14.

$$N = \frac{E_{cons}}{E_g}; \quad (14)$$

### 3.4.2 Determinação do banco de bateria

No dimensionamento do banco de baterias foi considerado a energia média exigida pela carga e o período de autonomia necessário. É possível estimar o período pela seguinte Equação 15.

$$N = -0,48.HSP_{min} + 4,58 \quad (15)$$

Em que,  $N$  é o número de dias de autonomia;  $HSP_{min}$  é a quantidade de horas de sol pleno para o mês com valor mais baixo de radiação solar.

Com  $N$  calculado é possível obter a capacidade exigida do banco de baterias conforme as Equação 16 e Equação 17.

$$C = \frac{E_m \cdot N}{P_d} \quad (16)$$

$$C_I = \frac{C}{V_{sist}} \quad (17)$$

Em que,  $C$  é a capacidade do banco em função das horas projetadas [ $W.h$ ];  $C_I$  é a capacidade de corrente do banco em função das horas projetadas [ $A.h$ ];  $E_m$  é a energia média no período crítico;  $P_d$  é o fator de profundidade de descarga em [%];  $V_{sist}$  é tensão do sistema [ $V$ ].

Com a obtenção da capacidade do banco, o número de baterias em paralelo é dado pela Equação 18.

$$N_{bp}^o = \frac{C_I}{C_{Ibat}} \quad (18)$$

Em que,  $N_{bp}^o$  é o número de baterias em paralelo;  $C_{Ibat}$  é o é a capacidade de corrente da bateria [ $A.h$ ];

Por fim, a tensão necessária fornecida pelo número de baterias em série é dada pela razão entre a tensão do sistema e a tensão fornecida por uma bateria conforme a Equação 19.

$$N_{bs}^o = \frac{V_{sist}}{V_{bat}} \quad (19)$$

Em que,  $N_{bs}^o$  é o número de baterias em série;  $V_{bat}$  é o é a tensão da bateria [ $V$ ];

### 3.4.3 Determinação do controlador de carga

De acordo com Pinho e Galdino (2014), para o dimensionamento do controlador foi considerado os limites máximos de corrente e tensão do controlador. No caso da tensão, ela deve ser sempre maior que tensão máxima de saída dos módulos fotovoltaicos ligados em série, já a corrente, ela é considerado a corrente de curto-circuito dos módulos, o número de módulo em paralelo e um fator de segurança no caso de 25%, conforme a Equação 20

$$I_c = 1,25 \cdot N_{mp}^o \cdot I_{sc} \quad (20)$$

Em que,  $I_c$  é a corrente máxima do controlador [A];  $N_{mp}^o$  é número de módulos em paralelo;  $I_{sc}$  é a corrente de curto-circuito [A].

### 3.4.4 Determinação do inversor

Na escolha do inversor foi considerado, além das características técnicas do módulo, a orientação e a potência de saída do módulo fotovoltaico. O fator de dimensionamento de inversores é dado pela relação entre a potência nominal CA do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico, conforme demonstra Equação 21.

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} \quad (21)$$

A tensão de entrada do inversor é dada pela soma dos módulos associados em série, influenciada pela temperatura do ambiente, portanto a mudança de temperaturas de verão e inverno foram consideradas, os valores de tensão em relação à temperatura são fornecidos pelo fabricante, e a relação de número de módulos e tensão segue a Equação 22

$$\frac{V_{SPPMmin}}{V_{mpTmax}} \leq N_{Mserie}^o \leq \frac{V_{SPPMmax}}{V_{mpTmin}} \quad (22)$$

O número limite de fileiras conectadas em paralelo para que a corrente de entrada máxima suportada pelo inversor não seja ultrapassada pode ser calculada pela seguinte Equação 23.

$$N_{Mparalelo}^o = \frac{I_{max}}{I_{sc}} \quad (23)$$

## 3.5 Etapa 4

Nesta última etapa foi realizada a automação do sistema para ele desligar quando o reservatório estiver cheio e ligar quando estiver com a água abaixo de um certo nível, por meio de

um controlador lógico programável (CLP) fornecendo alguma proteção contra o funcionamento em baixo nível de água.

## 4 DESENVOLVIMENTO

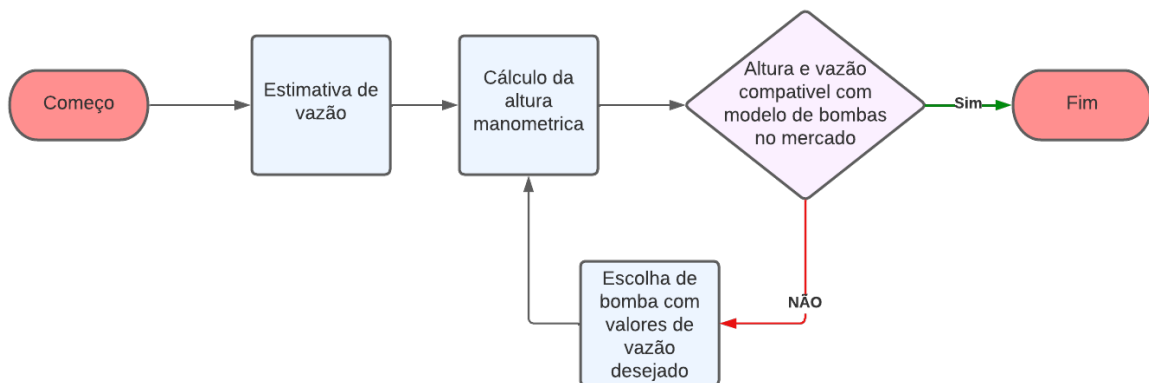
Neste capítulo é apresentado o dimensionamento do sistema relacionado ao trabalho e a escolha dos equipamentos a serem utilizados.

### 4.1 Desenvolvimento da etapa 1

Determinação de recursos hídricos: uma caixa d'água de 250 litros foi escolhida como reservatório superior e, como medida de segurança para evitar o bombeamento com pouca água, uma de 310 litros como reservatório inferior, as dimensões estão presentes no anexo B, sendo a distância entre a base da caixa inferior e a entrada do recipiente superior de 1,5 metros.

Para determinação da vazão, partindo de uma estimativa de vazão inicial foi calculado a altura manométrica, em seguida foi consultado em catálogo modelos de bombas escolhendo valores de vazão e altura próximos aos usados no cálculo, em seguida a altura manométrica foi recalculada para ser compatível com o valor de vazão da nova bomba, conforme o fluxograma presente na Figura 17

Figura 17 – fluxograma da escolha da motobomba



Fonte: Autoria própria (2022).

Assumindo uma vazão  $Q$  de  $2,7 [m^3 \cdot h^{-1}]$ , dividindo o volume do reservatório pela vazão o período que leva para o reservatório ficar cheio em  $0,0926 [h]$ . Utilizando da Equação 2 para determinar a constante  $K$ .

$$K = 1,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,0926}{24}} = 0,3240$$

Com o valor de  $K$  o cálculo do diâmetro necessário da tubulação foi feito conforme a Equação 1

$$D_r = 0,324 \sqrt{\frac{2,7}{3600}} = 0,008872 \text{ m}$$

Devido ao diâmetro encontrado ser menor que qualquer valor comercial disponível foi escolhido o tamanho de 25 mm, obedecendo aos limites estabelecidos ao utilizar a Equação 3

$$v = \frac{4 \cdot \frac{2,7}{3600}}{\pi \cdot 0,025^2} = 1,5279 \frac{m}{s}$$

Como o valor da velocidade está nos limites de  $0,5 [m.s^{-1}]$  e  $4,0 [m.s^{-1}]$  foi possível utilizar esse diâmetro de tubulação como substituto do diâmetro calculado.

#### 4.1.1 Altura manométrica

O reservatório possui as dimensões de 0,53 m de altura, diâmetro superior de 0,98 m e diâmetro inferior de 0,74 m conforme o anexo (B). A soma das alturas A+B+C é de 2 m, os acessórios utilizados são 2 joelhos de  $90^\circ$  e uma válvula globo, ambos com 25 mm de diâmetro além de um hidrômetro para monitoramento.

Segundo Porto (2006), as perdas geradas pelos acessórios compõem a altura manométrica total, e calculadas utilizando o coeficiente  $K_L$ , onde para os cotovelos e válvula globo são respectivamente: 0,9 e 10, aplicando a Equação 5.

$$h_{access} = \left( \frac{1,5279^2 \cdot (10 + 0,9)}{2 \cdot 9,81} \right) = 1,2850 m$$

A Associação Brasileira de Normas Técnicas de 1998, na norma 5626, determina que  $Q_{max}$  tenha o valor de 7. Para calcular a perda gerada pelo hidrômetro foi usada a Equação 6.

$$\Delta h = (36 \cdot 0,75)^2 \cdot (7)^{-2} = 0,0015 m$$

A altura entre o ponto de coleta e o reservatório é de 1,5 m, a distância horizontal entre os reservatórios foi dividida em 2 tubulações de 0,75 m cada totalizando 1,5 m. Para o cálculo das perdas foi utilizada a Equação 5.

$$h_{dist} = \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \cdot \left( \frac{f \cdot L}{D} \right)$$

em que,

$$h_{dist} = (0,1190) \cdot \left( \frac{f \cdot L}{D} \right)$$

para continuar a equação foi necessário obter o número de Reynolds utilizado da Equação 8,

$$Re = \frac{1,5279 \cdot 0,025}{10^{-6}} = 38197$$

com o número de Reynolds obtêm-se  $f$  por meio da Equação 7,

$$f = 0,0055 \cdot \left( 1 + \left( 2000 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{25 \cdot 10^{-3}} + \frac{10^6}{38197} \right) \right) = 0,1501$$

retornando a Equação 5 com os parâmetros calculados,

$$h_{dist} = (0,1190) \cdot \left( \frac{(0,1501) \cdot 1,5}{0,025} \right) = 1,0719 \text{ m}$$

somando a altura gerada por todas as perdas mais a altura total tem-se:

$$H_T = A + B + C + h_{dist} + h_{access} + \Delta h = 4,3584 \text{ m}$$

foi adicionando como margem de segurança 15% à altura manométrica, obtêm-se:

$$H_R = H_T \cdot 1,15 = 5,0122 \text{ m}$$

a potência hidráulica foi determinada conforme a Equação 9,

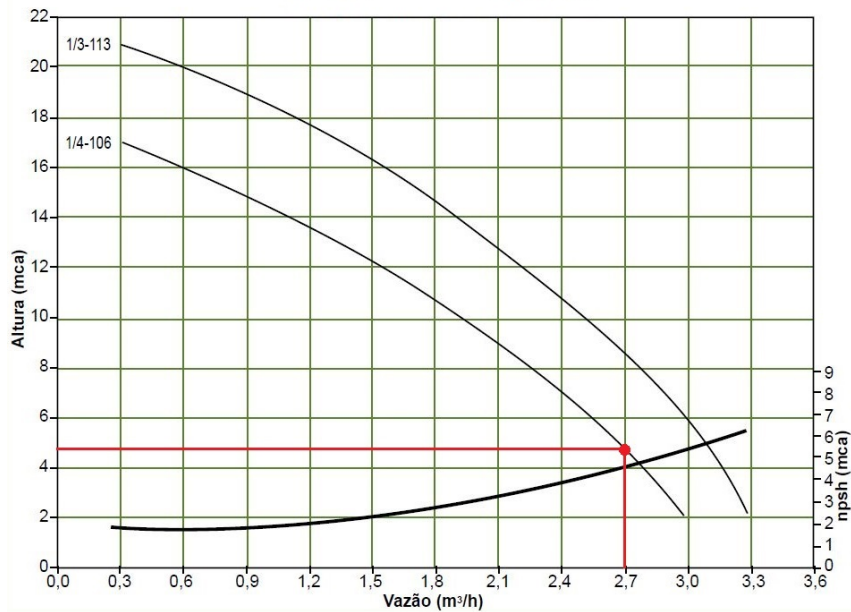
$$P_H = g \cdot \rho \cdot Q \cdot H_T = 36,7664 \text{ W}$$

Com a potência hidráulica obtida foi possível continuar para a próxima etapa e dimensionar a motobomba.

## 4.2 Desenvolvimento da etapa 2

Devido ao sistema operar a uma baixa altura manométrica ele operará com baixo rendimento mesmo utilizando de uma motobomba centrífuga que opere em baixas alturas manométricas, o modelo será a bomba Centrífuga Residencial Schneider modelo Bcr-2000 1/4 Cv de 220 v. A faixa de valores nos quais a motobomba atua correspondem com os valores calculados na etapa anterior conforme são apresentados na seguinte Gráfico 4.

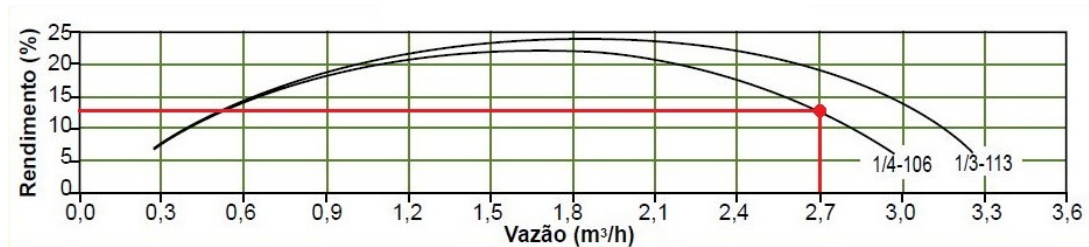
Gráfico 4 – Curva de vazão &amp; altura



Fonte: adaptado de INDÚSTRIAS SCHNEIDER S.A. (s.d.).

Para obter a potência hidráulica em potência elétrica foi necessário conhecer o rendimento sendo ele obtido com base na vazão que o sistema opera conforme revela o gráfico da Gráfico 5.

Gráfico 5 – Curva de vazão &amp; rendimento



Fonte: adaptado INDÚSTRIAS SCHNEIDER S.A. (s.d.).

A potência elétrica da motobomba, necessária para mover a água de um reservatório para outro, foi obtida conforme a eficiência fornecida pelo fabricante sendo cerca de 13%, utilizando da Equação 10.

$$P_{EL} = \frac{P_H}{\eta_m} = 282,819 \text{ W}$$

Para o cálculo do NPSH os dados foram retirados do gráfico de (Altura x vazão) fornecido pelo fabricante na Gráfico 4 e seguindo a Equação 11

$$NPSH_{disp} = 9,79 - [0,53 + 0,239 + 2,358 + 0,1190] = 6,544$$

o NPSH (disponível) deve ser superior ao NPSH (necessário) de 5,5, nessas condições de operação não deverá ocorrer problemas contanto que não haja perturbações no sistema.



### 4.3 Desenvolvimento da etapa 3

Nesta etapa foi obtido a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos e a determinação do banco de bateria, controlador de carga, inversor de onda e o diâmetro dos condutores.

#### 4.3.1 Módulos fotovoltaicos

Multiplicando a potência elétrica necessária para motobomba transportar a água pelo período de funcionamento, sendo esse período o tempo necessário para a motobomba encher o reservatório superior uma vez, é obtido a energia gasta durante o período de funcionamento do motor, conforme a Equação 13

$$E_g = 282,819 * 0,0926 = 26,189 \text{ W.h}$$

A energia gasta durante o período de funcionamento do motor foi de 26,189 [W.h], o modelo de módulo fotovoltaico foi da *Resun Solar Energy* modelo rs6e-155m, o módulo possui eficiência de 18,05% e uma área de 0,85852 m<sup>2</sup>, as demais características do painel encontram-se no anexo C.

A potência gerada pelo módulo fotovoltaico foi calculada utilizando o valor médio anual de potencial solar de Medianeira sendo ele 4,96 [kW.h.m<sup>-2</sup>] conforme a Tabela 4 que apresenta a média de valores de irradiação solar e utilizando a Equação 13.

$$E_g = 4,96 * 0,85852 * 0,1805 = 0,7686 \text{ k.W.h}$$

Portanto, o módulo fotovoltaico consegue gerar em média durante o ano 768,6 [W.h]. A tensão de circuito aberto de cada placa a 25 °C é de 24,46 Vcc. Para se aproximar ao valor de tensão gerado no local foi utilizada a seguinte Equação 24.

$$V_{ocmax} = V_{oc} + V_{oc} \cdot ((T_L - 25) * T_{CV_{oc}}) \quad (24)$$

Para calcular foram usados os valores de temperatura mensais de Medianeira fornecidos por CLIMATE-DATA (2019) na Tabela 5.

**Tabela 5 – Dados climatológicos para Medianeira.**

Mês	Temperatura mínima ( $^{\circ}C$ )	Temperatura máxima ( $^{\circ}C$ )
Janeiro	22,1	29,7
Fevereiro	22	29,5
Março	21	28,8
Abril	18,9	26,9
Mai	15,4	22,7
Junho	14,5	21,7
Julho	13,6	21,6
Agosto	15,1	24,3
Setembro	16,7	26,2
Outubro	19,2	27,9
Novembro	19,8	28,3
Dezembro	21,4	29,5

Fonte: adaptado de CLIMATE-DATA (2019).

A maior tensão de circuito aberto fornecida pelo módulo fotovoltaico foi calculada utilizando a menor temperatura do ano para, conforme a Equação 24,

$$V_{ocmax} = 24,46 + 24,46 \cdot ((13,6 - 25) \cdot -0,0028) = 25,18 \text{ V}$$

em seguida foi calculado a menor tensão de circuito aberto com a maior temperatura anual,

$$V_{ocmax} = 24,46 + 24,46 \cdot ((29,7 - 25) \cdot -0,0028) = 24,14 \text{ V}$$

Esses valores de tensão foram usados para determinar o número de baterias em série necessárias, os limites do controlador de carga e o inversor de onda completa.

#### 4.3.2 Bateria

Número de dias de autonomia foi obtido utilizando a menor média de irradiação solar obtida na tabela 4 e aplicando a Equação 15 temos:

$$N = -0,48 \cdot 13,6 + 4,58 = 1,95$$

O número de dias de autonomia necessário é de 2, porém, segundo Pinho e Galdino (2014), é aconselhável que o número de dias não seja menor que 3.

A energia gerada no período crítico é obtida através da menor média de insolação de 3,61 [ $k.W.h.m^{-2}$ ] obtida na Tabela 4 aplicada na Equação 15,

$$E_g = 3,61 \cdot 0,85852 \cdot 0,1805 = 0,559 \text{ k.W.h}$$

Sendo obtido 0,559 kWh, já a energia consumida no período crítico é a energia elétrica necessária para a motobomba transportar a água pelo período de funcionamento sendo previ-

amente calculada em 26,189 (Wh), considerando uma taxa de descarga de 15%, para obter a capacidade C do banco de baterias foi aplicada a Equação 16.

$$C = \frac{(26,187) \cdot (3)}{0,15} = 523,74 \text{ k.W.h}$$

Em seguida, a capacidade de corrente do banco de baterias foi obtida através da razão entre a capacidade do banco de baterias e a tensão do sistema como na Equação 17,

$$C_I = \frac{523,74}{24} = 21,82 \text{ A.h}$$

O modelo escolhido foi a bateria estacionária 12te25 da marca *Duracell*, a bateria possui estanho na liga de chumbo e as moléculas que compõem as grades são mais compactas o que as deixam mais resistentes a corrosão da solução ácida. As características elétricas se encontram no anexo A.

Cada bateria possui 25 A.h com tensão de 12 V gerando até 300 W.h como a tensão em circuito aberto gerada pela placa é de 24 V foi utilizado 2 baterias em série, suprimindo a necessidade de energia consumida no período crítico.

#### 4.3.3 Controlador de carga

Para igualar a tensão de circuito aberto de 24 V do módulo fotovoltaico o número de baterias em série utilizadas foi de duas, com isso o controle entre a energia fornecida, a bateria e o gerador fotovoltaico é fornecido pelo controlador de carga da marca *SUN21* com entrada para 24 Vcc que suporta uma corrente máxima de 20 A. Os demais parâmetros estão contidos no Anexo E.

#### 4.3.4 Inversor de onda senoidal pura

A tensão de entrada do inversor foi determinada de modo que ela fique entre a tensão dos módulos associados em série, influenciados pela temperatura do ambiente os valores de tensão gerados pelo módulo foram obtidos na subsecção 4.3.1 sendo eles 25,18 V e 24,14 V.

Para ligar a motobomba foi escolhido um inversor de onda senoidal pura da marca Usina, o inversor possui Potência de saída de 1000W, tensão de entrada de 24 V, com suporte para faixa de tensão de 21 V a 32 V, o valor da tensão de saída é de 220 V e Frequência de 60 Hz, conforme mostra no anexo D, para achar o fator de dimensionamento do inversor de onda foi usando a Equação 21.

$$FDI = \frac{1000}{768,6} = 1,30$$

#### 4.3.5 Determinação dos condutores

A escolha dos condutores foi baseada conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas 2004 na Norma 5410 que determina o dimensionamento de condutores para baixas tensões, a tabela de diâmetro de condutores de cobre utilizado está presente no anexo F, e as indicações dos fabricantes para o diâmetro de cada componente.

Para que o inversor seja ligado à motobomba, considerando que a motobomba opera com potência de 282 W e a uma tensão de 220 V sendo a corrente de 1,28 A, portanto seguindo os valores do anexo F, sendo os condutores isolados em eletroduto aparente de seção circular sobre parede que os classifica como categoria B1 na norma 5410, foi escolhido 2,5 mm<sup>2</sup> (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Para ligar o inversor ao controlador de carga, segundo as recomendações dadas pelo fornecedor contidos no anexo D, foi determinado um condutor de 16 mm<sup>2</sup>.

Do painel fotovoltaico ao controlador de carga, foi determinado o diâmetro de 4 mm<sup>2</sup>, seguindo a recomendação do fabricante presente na tabela de características mecânicas do módulo fotovoltaico presente no anexo C.

Da bateria ao controlador de carga, no caso a bateria possui uma corrente de descarga de máxima 25 A sendo essa considerada para determinar o condutor. Os condutores são isolados em eletroduto aparente de seção circular sobre parede que o classifica como categoria B1 na norma 5410, e segundo a tabela de diâmetro de condutores no anexo F, portanto a bitola do condutor foi determinada como 4 mm<sup>2</sup> (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

### 4.4 Desenvolvimento da etapa 4

O sistema de automação é realizado a partir de um controlador lógico programável (CLP) e 3 sensores de nível divididos em 1 sensor para o reservatório inferior e 1 para o superior. O sensor no reservatório inferior tem a função de não permitir que o nível de água atinja o nível abaixo da entrada da bomba, já o sensor no reservatório superior monitora a entrada de água evitando o abastecimento excessivo.

#### 4.4.1 Componentes

O sensor de nível de água com boia horizontal é um dispositivo eletrônico que detecta o nível de líquido em um reservatório. O sensor funciona como uma chave magnética, ao ser fechada, devido à elevação da boia horizontal será permitida a condução da corrente elétrica (BAU DA ELETRÔNICA, s.d.).

O programa responsável pela abertura da contatora através do sinal indicado pelas botoeiras e sensores foi instalado no CLP, a linguagem escolhida para realizar o programa foi a *grafcet*, onde segue a sequência lógica usando as seguintes variáveis foram utilizadas conforme a seguir no Quadro 1.

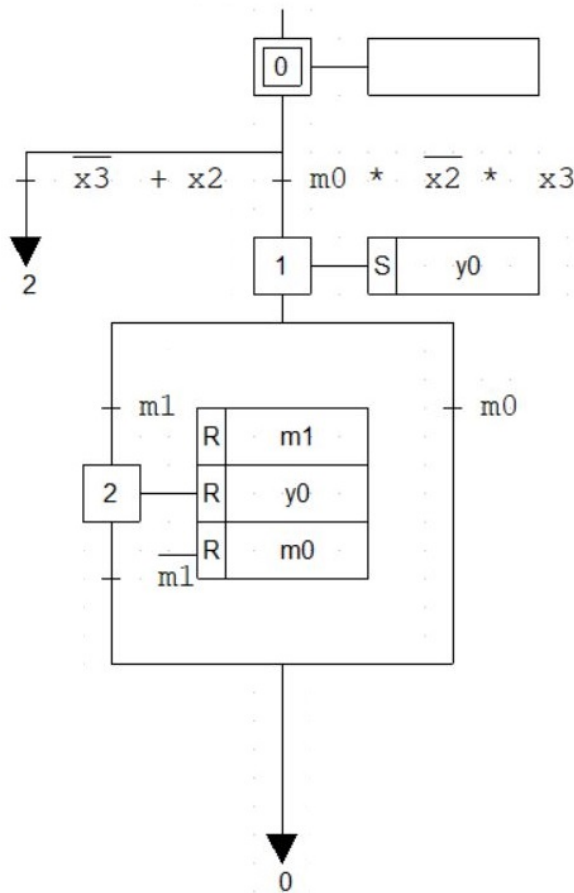
**Quadro 1 – Variáveis do controlador.**

Legenda	Variável
Botão liga	I0
Botão desliga	I1
Sensor niv. sup. alto	I2
Sensor niv. inf. baixo	I3
Motor	Q0
Transição 1	M0
Transição 2	M1

Fonte: Autoria própria (2022).

O controlador checa se algum dos sensores está ativado antes de permitir o acionamento, caso o botão de ligar e os sensores do reservatório inferior e superior estiverem respectivamente, ativado e desativado o motor irá iniciar a operação de bombeamento até o sensor superior ou o sensor inferior mudarem de estado lógico, como na Figura 18.

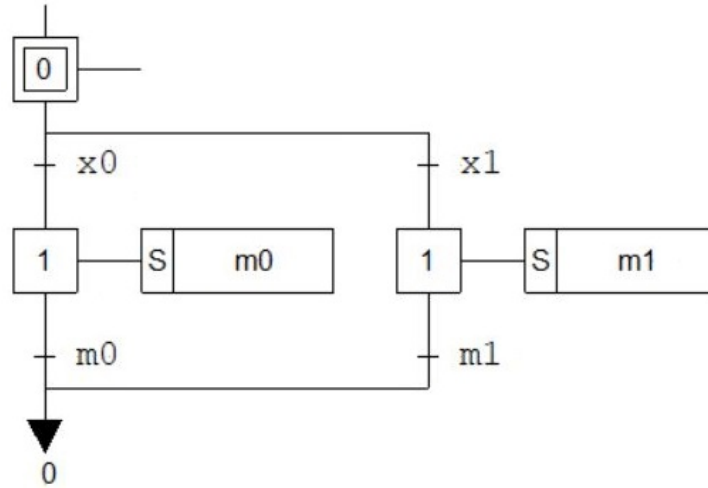
**Figura 18 – Sequência lógica para acionamento do motor**



Fonte: Autoria própria (2022).

A seguir a Sequência lógica responsável em iniciar o processo através de botoeiras, que estará executando em conjunto ao programa anterior, é representada na Figura 19.

**Figura 19 – Sequência lógica auxiliar**



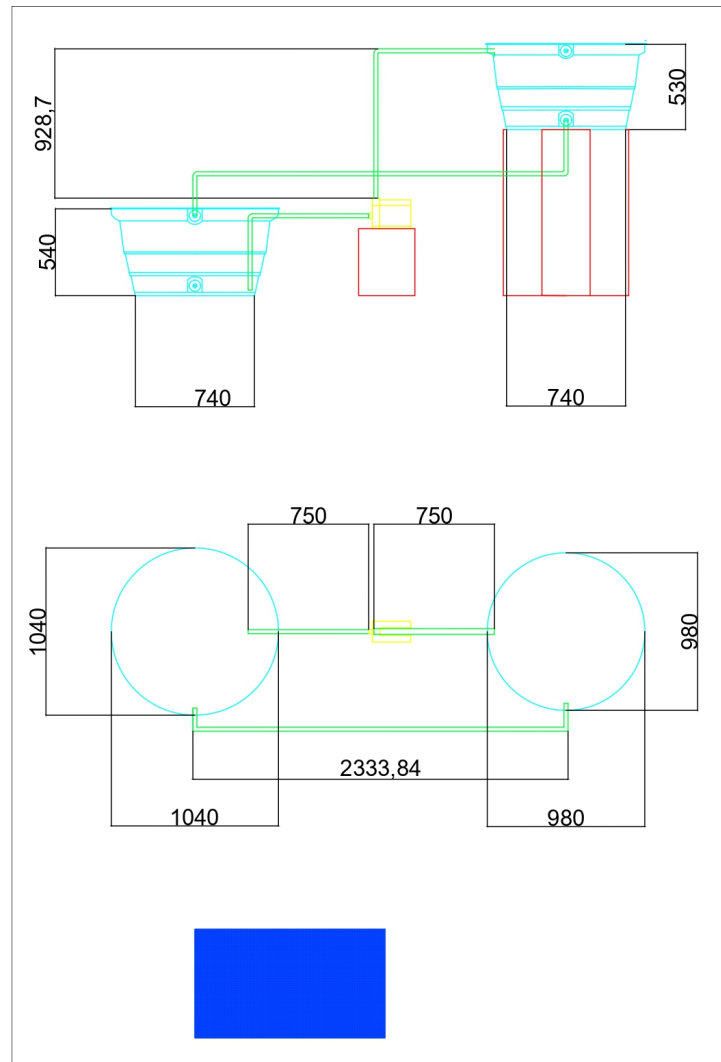
**Fonte: Autoria própria (2022).**

O estado lógico dos botões de ligar e desligar será checado e então ativa uma das duas variáveis de transição que determinarão se o motor será ou não desligado.

## 4.5 Planta

A planta de *layout* possui a vista superior e lateral do arranjo do sistema de bombeamento, a motobomba é posicionada de forma que a entrada fique no mesmo nível da entrada do reservatório inferior, conforme é mostrado na Figura 20.

**Figura 20 – Visão superior e lateral**

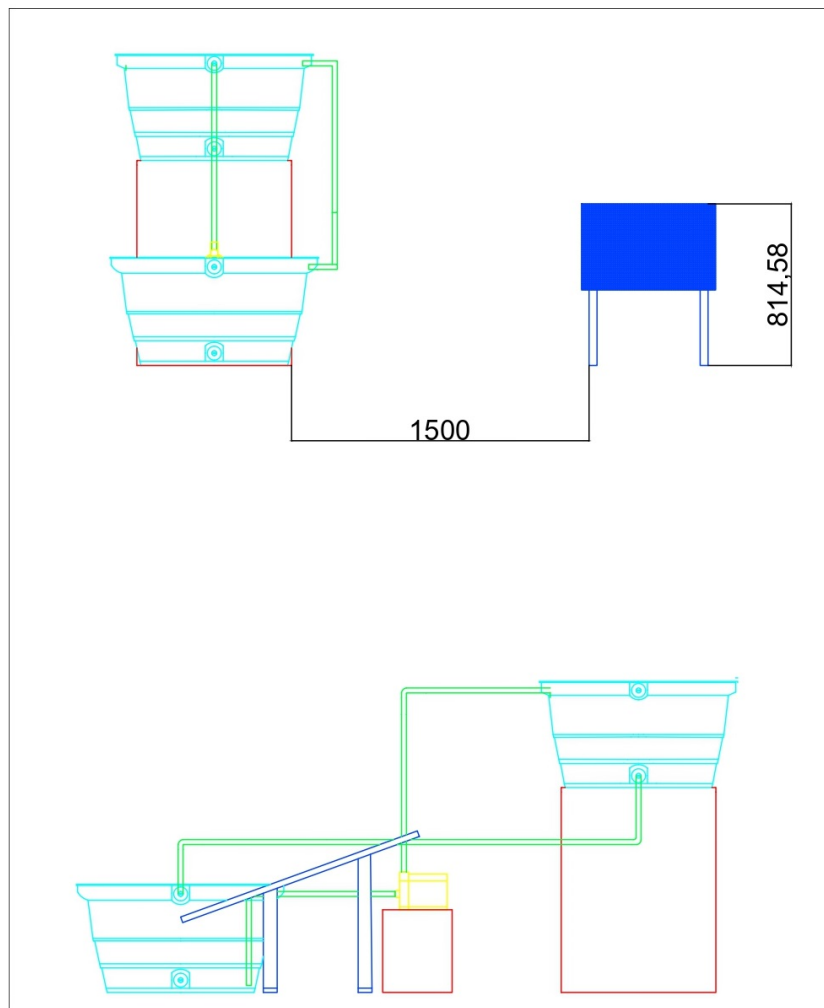


**Fonte: Autoria própria (2022).**

Nas ligações das tubulações, o tubo de sucção na caixa inferior é instalado na vertical conectado com um joelho de 90° de 25 mm, em seguida um tubo horizontal será conectado no flange de 25 mm para realizar as entradas das tubulações, ambas caixas d'água terão suas entradas e saídas por flanges.

Na tubulação que conecta a saída do reservatório inferior e a entrada da motobomba possui o registro globo para fechar a tubulação caso seja necessário, um joelho de 90° de medida de 25 mm conecta o tubo de saída da motobomba com a entrada da caixa d'água superior. Outra visão é apresentada na Figura 21 contendo a vista frontal e uma vista lateral adicional contendo o módulo fotovoltaico.

**Figura 21 – Visão frontal e lateral**



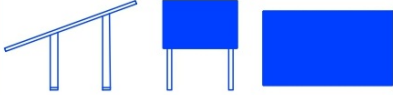




**Fonte: Autoria própria (2022).**

Para recomençar o sistema após o enchimento e realizar o reabastecimento e diminuir perdas d'água, um registro globo é conectado a uma tubulação ligada do reservatório inferior ao reservatório superior.



Cada componente possui três vistas sendo elas frontal, lateral e superior, a legenda que define cada componente da planta de *layout* é apresentada na Figura 22.

**Figura 22 – Legenda**

	<p>PAINEL FOTOVOLTAICO (VISTA LATERAL, FRONTAL, SUPERIOR).</p>
	<p>RESERVATÓRIO (VISTA LATERAL, FRONTAL, SUPERIOR).</p>
	<p>MOTOBOMBA (VISTA LATERAL, FRONTAL, SUPERIOR).</p>
	<p>TUBULAÇÃO 25 MM.</p>
	<p>ESTRUTURA DE SUPORTE PARA CAIXA D'ÁGUA.</p>

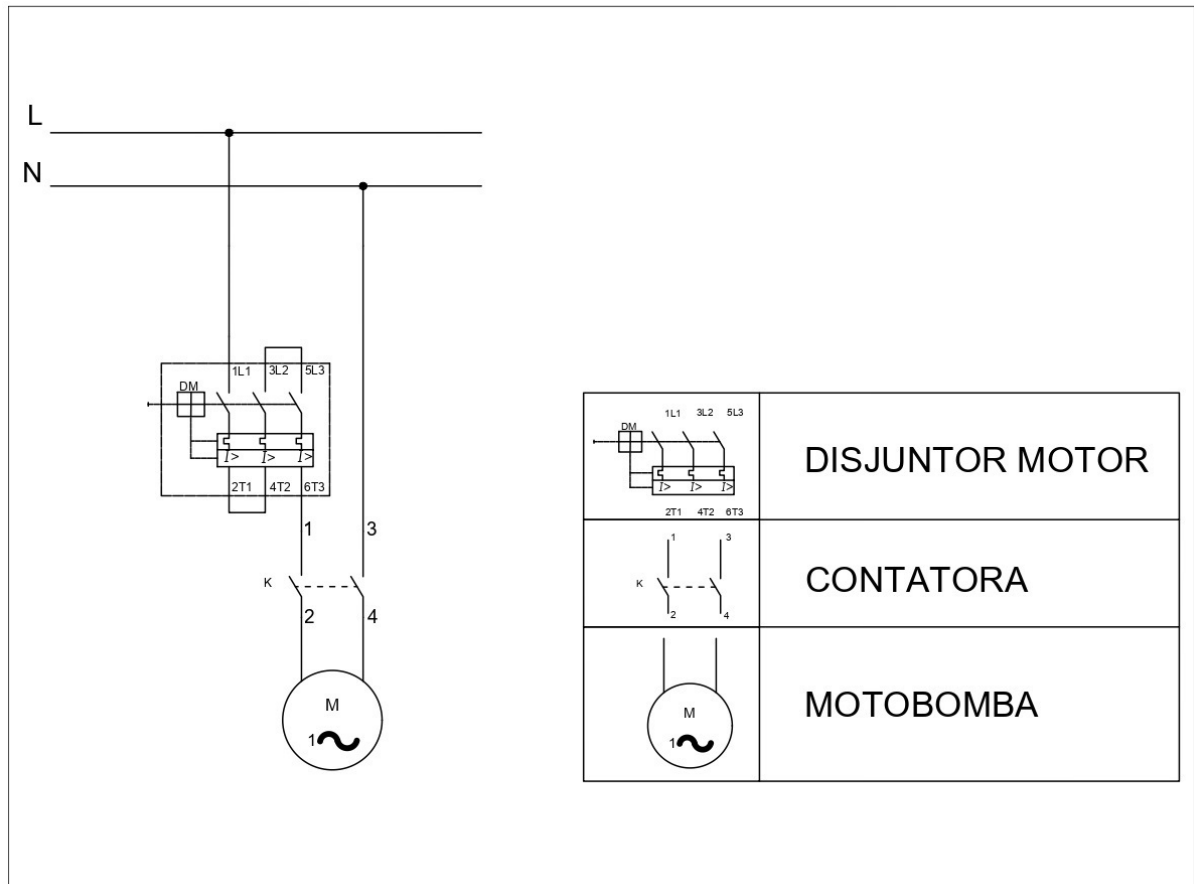
**Fonte: Autoria própria (2022).**

A caixa d'água e a motobomba são posicionadas em estruturas de tijolo, sendo a do reservatório em forma de cruzada.

#### 4.6 Acionamento do motor

O diagrama de acionamento da motobomba foi dividido em duas partes sendo elas o motor e o painel de controle, o diagrama de ligação da motobomba é mostrado conforme a Figura 23.

Figura 23 – Diagrama de acionamento da motobomba

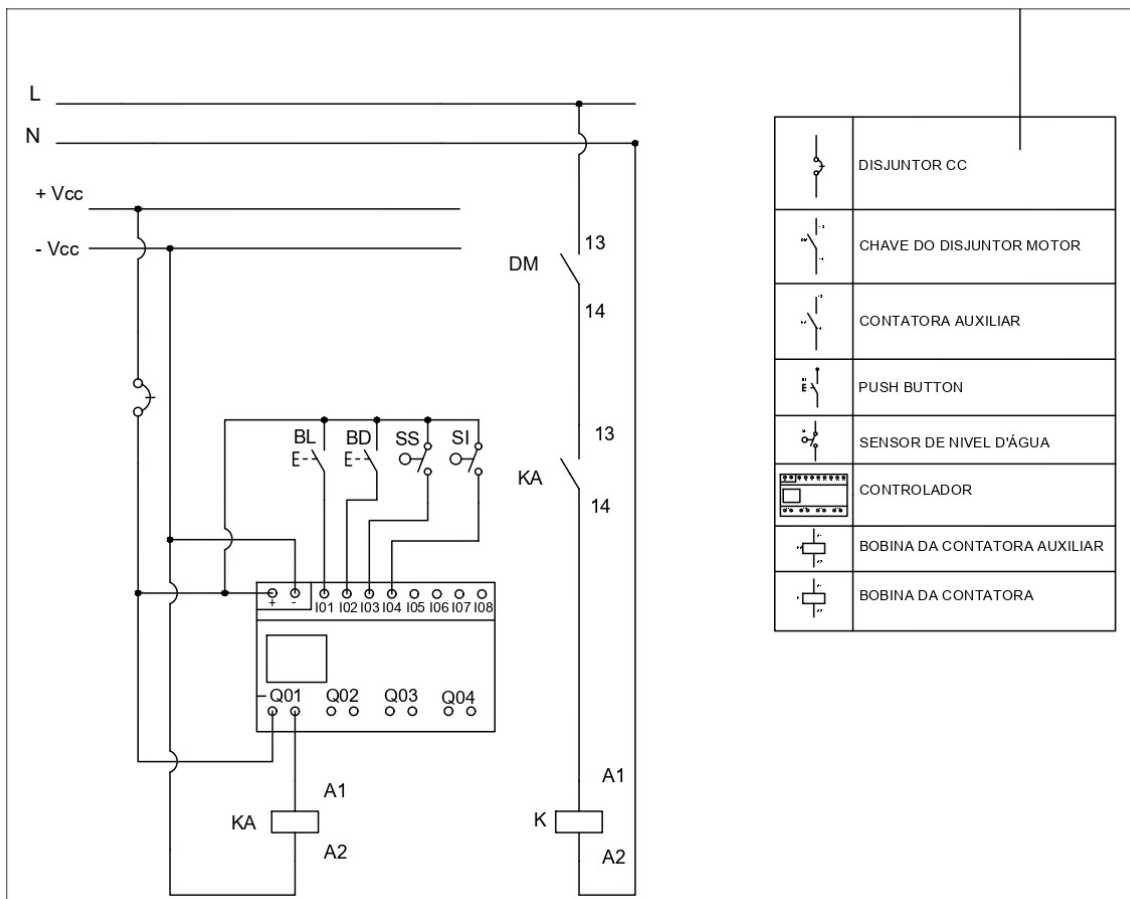


Fonte: Autoria própria (2022).

A entrada 1L1 do disjuntor motor é conectada ao inversor e as saídas 2T1 e 4T2 são conectadas entre si e o mesmo é realizado nas entradas 3L2 e 5L3, em sequência a saída 5T3 é ligada ao ponto 1 da contatora K conectada à motobomba.

O CLP é ligado ao controlador de carga com um disjuntor e a bobina da contadora da motobomba é ligada a fase fornecida pelo inversor. Nas entradas do CLP, I01, I02, I03 e I04, foram conectadas respectivamente à botoeira para ligar o motor, à botoeira de desligar o sistema, ao sensor do reservatório superior e o sensor do reservatório inferior, conforme apresenta a Figura 24.

**Figura 24 – Acionamento da motobomba (painel de comando)**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

Em sua saída, um contator auxiliar que ao acionar, ativa o contator responsável por ligar o motor da bomba, como proteção o CLP é conectado a um disjuntor cc.

#### 4.7 Levantamento de componentes

A quantidade de itens utilizados no desenvolvimento do trabalho e seus respectivos preços são destacados no Quadro 2.

**Quadro 2 – Orçamento dos componentes do projeto.**

Item	Quantidade	Preço
Botão tipo push	2	41,70
Sensor boia de nível	2	68,70
CLP easy 619	1	1 200,00
Motobomba Centrí. Resid. BCR2000	1	625,00
Contator WEG CWM9 Mono 220V	1	86,88
Contator Aux 3na + 1nf Weg	1	78,99
Disjuntor motor MPW12-3-D025S	1	242,40
Disjuntor CC 10 A 440v Bipolar	1	63,75
Fio flexível 6 mm	10	43,70
Fio paralelo 4 mm	6	45,24
Painel solar RESUN RS6E-155M	1	351,12
Bateria estacionária duracell 12TE25	2	739,80
Inver. USINA 1000 W 220 V sen. pura	1	1 000,00
Controlador de carga CCS-M2024	1	421,52
Cano soldável 25 mm amanco	6	21,89
Joelho 90 soldável 25 mm	5	5,25
Flange 25 mm	4	41,96
Registro Esfera 25 mm Sold. Viqua	2	23,56
Caixa d'água 250 L Polietileno Fortlev	1	232,70
Caixa d'água 310 L	1	165,55

**Fonte: Autoria própria (2022).**

O custo total de materiais utilizados para o desenvolvimento do trabalho é de R\$ 5.499,71, sendo os maiores custos pertencentes ao CLP e ao banco de baterias que demanda um controlador de carga, somando ambos representam R\$ 2.361,32 do custo total do sistema.

## 5 CONCLUSÃO

Sistemas de bombeamento de água alimentados por geração de energia solar fotovoltaica podem ser utilizados em regiões de difícil acesso a fontes hídricas e a redes de distribuição de energia elétrica.

O objetivo deste trabalho foi o dimensionamento de um sistema de bombeamento de água alimentado por um sistema de geração de energia fotovoltaico isolado. O sistema de bombeamento foi projetado para fornecer uma vazão de  $2,7 [m^3 \cdot h^{-1}]$ , desta forma, o reservatório superior de 250 L é abastecido em cinco minutos e 30 segundos. O módulo fotovoltaico tem capacidade de geração de  $0,769 [k \cdot W \cdot h]$ .

O trabalho é localizado no campus de Medianeira da UTFPR e foi elaborado considerando as condições de insolação anual e as variações da temperatura ao longo do ano, o cálculo da temperatura foi feito baseado no clima da região, no caso de temperatura extremas no local de instalação do módulo pode gerar uma interrupção do sistema. O custo total de materiais utilizados para o desenvolvimento do trabalho é de R\$ 5.499,71, sendo que os maiores custos estão relacionados ao CLP e ao banco de baterias que demanda um controlador de carga, ambos representam R\$ 2.361,32 do custo total do sistema.

O sistema de bombeamento de água alimentado pelo sistema de geração de energia fotovoltaica dimensionado neste trabalho é um modelo em escala reduzida da tecnologia se comparado aos aplicados em irrigação e abastecimento de residências e poderá ser utilizado por professores e acadêmicos da universidade e pela comunidade externa como exemplo de aplicação da tecnologia.

## REFERÊNCIAS

- ANA, A. N. de Águas e S. B. **Conjuntura de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2020.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. second. [S.l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- BAU DA ELETRÔNICA. **Sensor de Nível de Água com Boia Horizontal**. s.d. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/sensor-de-nivel-de-agua-com-boia-horizontal.html>.
- BLUESOL. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (Sistema On Grid)**. 2017. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>. Acesso em: 4 de novembro de 2021.
- CAMPOS, M. S.; BEZERRA, F.; ALCANTARA, L. D. S. de. análise de viabilidade técnica e econômica do sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação na agricultura familiar. **VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 2020.
- CHILUNDO, R.; MAHANJANE, U.; NEVES, D. Design and performance of photovoltaic water pumping systems: Comprehensive review towards a renewable strategy for mozambique. **Journal of Power and Energy Engineering**, v. 06, p. 32–63, 01 2018.
- CLIMATE-DATA. **Clima Medianeira: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Medianeira - Climate-Data.org**. 2019. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/medianeira-43579/>.
- CRESESB. **CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica**. 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>.
- DEGRAUS. **Entenda o funcionamento de uma bomba centrífuga**. 2019. Disponível em: <http://srv232.teste.website/~degrausc/entenda-o-funcionamento-de-uma-bomba-centrifuga/>. Acesso em: 1 de novembro de 2021.
- ECO.A. **A energia que queremos**. 2016.
- ENERGÊS. **Sol, Radiação Solar e as Fontes de Energia Renováveis**. 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/sol-e-a-radiacao-solar/>. Acesso em: 5 de novembro de 2021.
- FEDRIZZI, M. C. **Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaicos: Dimensionamento simplificado e análise para sistemas de pequeno porte**. 1997. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- FEDRIZZI, M. C. **Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: Lições apreendidas e procedimentos para potencializar difusão**. 2003. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- GHONEIM, A. Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. **Energy Conversion and Management, Elsevier**, p. 1449–1463, 2006.

GOCONQR. **Máquinas Volumétricas**. s.d. Disponível em: <https://www.goconqr.com/course/81798/m-quinas-volum-tricas>. Acesso em: 5 de novembro de 2021.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. [S.l.]: UFMG, 2006. v. 1. (Coleção Ingenium, v. 1). ISBN 978-85-7041-516-5.

INDÚSTRIAS SCHNEIDER S.A. **TABELA DE SELEÇÃO DE BOMBAS E MOTOBOMBAS**. s.d.

JENKINS, T. Designing solar water pumping systems for livestock. **NM State University, Cooperative Extension Service, Engineering New Mexico Resource Network, College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, College of Engineering**, 2014.

JUSTINO, D.; NOGUEIRA Élcio. Dimensionamento do sistema de recalque para abastecimento de água da comunidade de macundú, distrito de são joão marcos, município de rio claro, rio de janeiro. **uniFOA**, 2017.

KHATIB, T. Deign of photovoltaic water pumping systems at minimum cost for palestine: A review. **Journal of Applied Sciences**, v. 10, 12 2010.

MACINTYRE. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Rio de Janeiro (RJ): LTC, 1997.

MARANGONI, F. **inversores monofásicos para conexão de sistemas fotovoltaicos a rede**. 2012. Dissertação (Mestrado) — universidade tecnológica federal do paraná, Pato Branco, 2012.

MERGOUL, K.; LAARABI, B.; BARHDADI, A. Solar water pumping applications in morocco:: State of the art. **6th International Renewable and Sustainable Energy Conference**, 2018.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. INPE, 2017. Google-Books-ID: oTt0MQAACAAJ. ISBN 978-85-17-00030-0. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**: Grupo de trabalho de energia solar. [S.l.]: CEPEL–DTE–CRESESB, 2014.

PORTO, R. de M. **HÍDRÁULICA BÁSICA**. São Carlos, SP: EESC-USP, 2006.

QUEIROZ, A. O. *et al.* Sistema fotovoltaico de bombeamento com carga motriz adicional. **Anais CBENS 2020**, 2020.

RÜTTER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e integradas a rede elétrica pública no brasil. first. Florianópolis: UFSC / LABSOLAR, 2004.

SECPower. **Conheça os tipos de baterias chumbo-ácida: AGM VRLA, GEL e Ventilada**. 2020. Disponível em: <https://secpower.com.br/conheca-os-tipos-de-baterias-chumbo-acida-agm-vrla-gel-e-ventilada/>. Acesso em: 5 de novembro de 2021.

SEGUEL, J. I. L. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. 2009. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SILVA, E. N. da; BASCOPE, R. P. T. Sistema de bombeamento de Água usando energia fotovoltaica. **VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, jun 2020.

SILVA, E. N. da; BASCOPÉ, R. P. T. Sistema de bombeamento de água usando energia fotovoltaica. **Anais CBENS 2020**, 2020.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. [S.l.]: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2019.

UFRGS. **Entenda: Diodo Emissor de Luz (LED)**. 2018. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/enfitecjunior/blog/diodo-emissor-de-luz-led/>. Acesso em: 4 de novembro de 2021.

VIAN, Â. *et al.* **Energia Solar:: Fundamentos tecnologia e aplicações**. [S.l.]: Editora Blucher, 2021. ISBN 9786555500592.

VICENTIN, T. A. **Acionamento de dois sistemas de bombeamento alimentados por uma central de microgeração fotovoltaica**. 2014. Dissertação (Mestrado) — Universidade estadual paulista “julio de mesquita filho” faculdade de ciências agrônômicas, Botucatu, 2014.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. 2ª edição. ed. [S.l.]: Editora Érica, 2012. ISBN 978-85-365-1489-5.

ZILLES, R. *et al.* **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. [S.l.]: Oficina de textos, 2012. (Coleção aplicações da energia solar fotovoltaica).



## **ANEXO A – Características da bateria**

Figura 25 – Características da bateria

## CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E DIMENSIONAIS

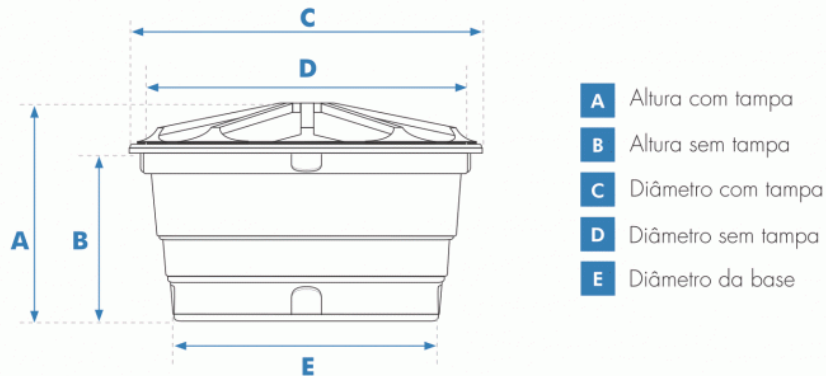
Obs.: Dados referentes a baterias novas a plena carga.

Modelos	Capacidade (Ah) até 1,75V/Cel @ 25°C			Dimensões ± 3 (mm)			Peso (Kg)	Terminais		Layout	Base	Resistência Interna (m)	Corrente Mínima Curto-Circuito (KA)	Valores Médios de Condutância (S)	Tensão V	
	10h	20h	100h	Comp.	Larg.	Alt.		Configuração	Tipo							
12TE25	24	25	27	196	128	187	10,0	— +	X	D1	B0	6,80	1,85	551	12	
12TE26	25	26	28	205	175	175	9,8	— +	X	D1	B3	6,75	1,87	575	12	
12TE36	34	36	40	205	175	175	11,0	— +	X	D1	B3	6,70	1,88	780	12	
12TE45	40,5	45	50	205	175	175	11,6	— +	X	D1	B3	5,50	2,29	921	12	
12TE60	54	60	65	242	175	175	14,0	— +	X	D1	B1	4,90	2,57	1005	12	
12TE65	60	65	68	287	174	175	16,8	— +	X	D1	B1	4,30	2,93	1090	12	
12TE86	82	86	92	330	174	242	24,5	— +	T/M r.e. **	D1	B0	4,00	3,15	1176	12	
12TE105	95	105	115	330	174	242	26,7	— +	T/M r.e. **	D1	B0	3,00	4,20	1656	12	
12TE150	142	150	160	508	215	250	42,9	+ —	T/M r.e. **	F	D1	B0	2,90	4,34	2015	12
12TE170	160	170	180	508	215	250	44,9	+ —	T/M r.e. **	F	D1	B0	2,80	4,50	2215	12
12TE180	165	180	200	515	275	245	55,5	+ —	T/M r.e. **	F	D1	B0	2,75	4,58	2345	12
12TE220	200	220	230	515	275	245	60,9	+ —	T/M r.e. **	F	D1	B0	2,40	5,25	2431	12

Fonte: Duracell (2020).

## **ANEXO B – Dimensões de caixa d'água**

Figura 26 – Dimensões de caixa d'água

**COMPARATIVO CAPACIDADE X DIMENSÕES:**

Capacidade em litros	Dimensões em metros				
	A	B	C	D	E
100	0,51	0,41	0,75	0,73	0,54
150	0,55	0,43	0,88	0,87	0,61
250	0,68	0,53	1,00	0,98	0,74
310	0,69	0,54	1,05	1,04	0,75
500	0,72	0,58	1,24	1,22	0,95
750	0,86	0,73	1,37	1,35	1,00
1.000	0,97	0,76	1,52	1,51	1,16
1.500	1,05	0,83	1,77	1,75	1,43
2.000	1,10	0,90	1,89	1,88	1,55
3.000	1,49	1,21	2,28	2,22	1,72
5.000*	2,00	1,63	2,45	2,37	1,85
7.500*	2,37	1,89	2,82	2,78	2,24
10.000*	2,57	2,03	2,95	2,92	2,41
15.000*	3,13	2,62	3,17	3,15	2,67

Dimensões aproximadas.

\* Modelos de 5.000 a 15.000 litros já vêm preparados com furo para instalação de um Adaptador (Flange) de 60 mm x 2 na saída.

Fonte: Fortlev (s.d.).

## **ANEXO C – Características do painel fotovoltaico**

Figura 27 – Características do painel fotovoltaico

<b>ELECTRICAL DATA(STC)</b>	
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	<b>155W</b>
Open Circuit Voltage-Voc(V)	24.46V
Short Circuit Current-Isc(A)	8.31A
Maximum Power Voltage-Vmp(V)	20.64V
Maximum Power Current-Imp(A)	7.51A
Module Efficiency (%)	18.05%

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

<b>TEMPERATURE &amp; MAXIMUM RATINGS</b>	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C ± 2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.28%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.048%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.35%/°C
Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000W(IEC)/1000v(UL)
Max Series Fuse Rating	15A
Limiting Reverse Current	15A

<b>MECHANICAL DATA</b>	
Solar cells	Mono-crystalline 157x132mm
Cell configuration	36 cells(4x9)
Module dimensions	1270x676x30mm
Weight	11KGS
Front Cover	3.2mm Tempered Glass
Frame Material	Anodized Aluminum Alloy
J-BOX	IP65
Cable	4mm <sup>2</sup> (IEC)/12AWG(UL),900mm
Connectors	MC4 or MC4 Comparable
Standard Packaging	

Fonte: Resun (s.d.).

## **ANEXO D – Características do inversor**

Figura 28 – Características do inversor

Modelo	SUIN-100012120	SUIN-100012220	SUIN-100024120	SUIN-100024220
Tensão de Funcionamento	10,5 a 16Vcc	10,5 a 16Vcc	21 a 32Vcc	21 a 32Vcc
Corrente de Entrada (Máxima)	120A	120A	60A	60A
Tensão de Saída	120Vca / +-3%	220Vca / +-3%	120Vca / +-3%	220Vca / +-3%
Corrente de Saída (Máxima)	12A	6A	12A	6A
Tipo de onda de Saída	Senoidal Pura	Senoidal Pura	Senoidal Pura	Senoidal Pura
Frequência de Saída	60Hz	60Hz	60Hz	60Hz
Potência de Saída (máxima contínua)	1000 Watts	1000 Watts	1000 Watts	1000 Watts
Potencia de Saída de pico (600ms)	2000 Watts	2000 Watts	2000 Watts	2000 Watts
Rendimento Típico	85%	85%	85%	85%
Cabo de Entrada (Recomendado)	25mm <sup>2</sup>	25mm <sup>2</sup>	16mm <sup>2</sup>	16mm <sup>2</sup>
Fusível Entrada (Recomendado)	120A	120A	60A	60A
Tomada de Saída NBR14.136	2P+T - 10A	2P+T - 10A	2P+T - 10A	2P+T - 10A
Peso	2Kg	2Kg	2Kg	2Kg

Fonte: Spark (s.d.).



## **ANEXO E – Características do controlador de carga**

Figura 29 – Características do controlador de carga

## Electric Parameters

Parameter	Value		
Model	CCS-M2024	CCS-M3024	CCS-M4024
System voltage	12V/24V Auto		
No-load loss	0.7 W to 1.2W		
Battery voltage	9 to 35		
Max. solar input voltage	100V (25°C), 90V (-25°C)		
Max. power point voltage range	Battery voltage +2V to 75V		
Rated charging current	20A	30A	40A
Rated load current	20A		
Max. capacitive load capacity	10000uF		
Max. photovoltaic system input power	260W/ 12V 520W/ 24V	400W/ 12V 800W/ 24V	550W/ 12V 1100W/ 24V
Conversion efficiency	≤ 98%		
MPPT tracking efficiency	> 99%		
Temperature compensation factor	-3.0mv/ °C/ 2V (default)		
Operating temperature	-35°C to +45°C		
Protection degree	IP32		
Weight	1.4kg	2kg	2kg
Communication method	RS232		
Altitude	≤ 3000m		
Product dimensions	210*151*59.5mm	238*173*72.5	238*173*72.5

Fonte: Sun21 (s.d.).

## **ANEXO F – Tabela de secção de condutores**

**Figura 30 – Tabela de secção de condutores**

**Condutores: cobre e alumínio**

**Isolação: PVC**

**Temperatura no condutor: 70°C**

**Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)**

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
<b>Cobre</b>												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1 000	767	679	698	618	1 012	906	827	738	1 125	996	792	652

**Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas 2004 .**