Douglas Rafael Neuhaus

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE RECALQUE DE ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR

Horizontina - RS

2018

Douglas Rafael Neuhaus

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE RECALQUE DE ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Geovane Webler.

Horizontina - RS

2018

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

“Dimensionamento de um sistema de recalque de água utilizando energia solar”

Elaborada por:

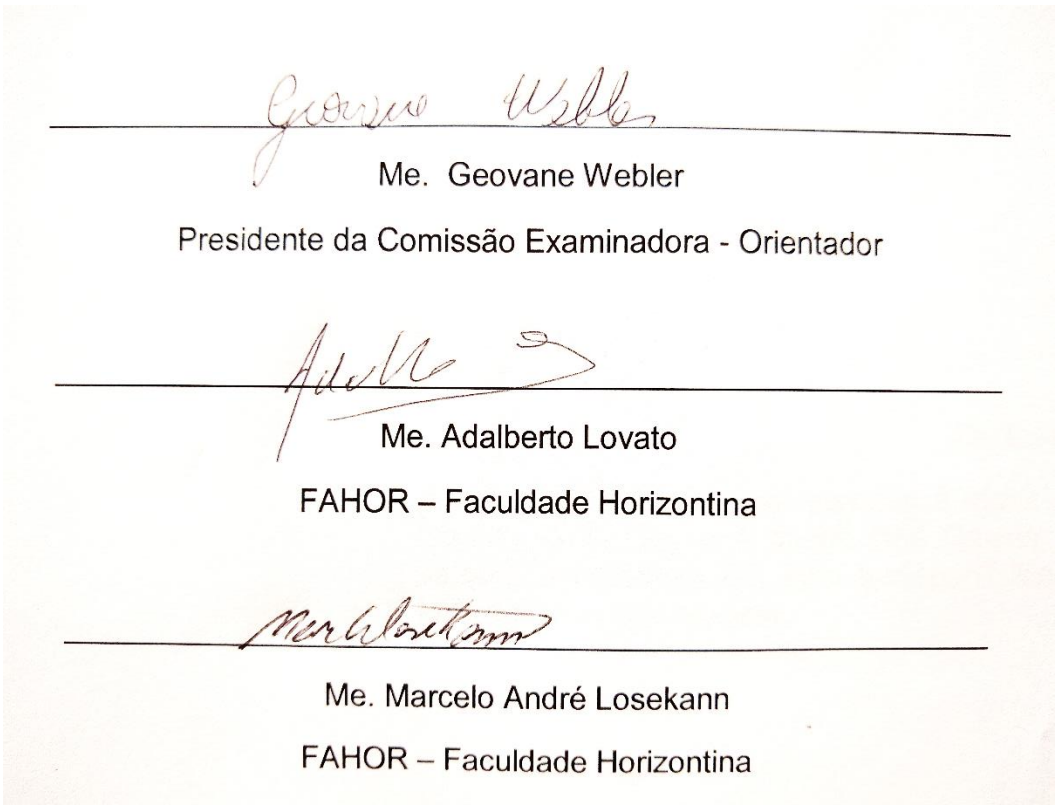
Douglas Rafael Neuhaus

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em

Engenharia Mecânica

Aprovado em: 29/11/2018

Pela Comissão Examinadora



Me. Geovane Webler

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

Me. Adalberto Lovato

FAHOR – Faculdade Horizontina

Me. Marcelo André Losekann

FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontina - RS

2018

Dedicatória

À toda minha família, em especial à meus pais Orlando e Silvete, e à minha irmã Daiana, por sempre acreditarem em mim e disponibilizarem todo o auxílio que precisei.

AGRADECIMENTO

À Deus, que sempre me acompanha e me ajudou a vencer todas as dificuldades que encontrei e a concluir esta jornada.

Aos meus pais, pelo carinho e por não medirem esforços em me proporcionar valores e educação de qualidade, e à minha irmã, pela amizade, incentivo e apoio em muitos momentos.

À minha namorada, pelo amor, motivação e felicidade indescritível que me proporciona.

Aos grandes amigos e colegas conquistados neste período, pelo aprendizado e momentos compartilhados.

À todos os professores que contribuíram na minha formação, em especial ao orientador Geovane Webler, pela amizade, compreensão e dedicação, e ao professor Adalberto Lovato pela disponibilidade e todo suporte na realização do trabalho.

RESUMO

Além de contribuir na diversificação da matriz energética brasileira, a energia solar fotovoltaica aparece como alternativa para utilização em pequenas e isoladas propriedades rurais, viabilizando o abastecimento de água para o consumo humano e produção de alimentos na agricultura familiar. A partir da necessidade de garantir o abastecimento de água à uma granja de terminação de suínos em uma pequena propriedade, o presente trabalho objetivou dimensionar um sistema de recalque que utilize energia solar fotovoltaica. Realizando a coleta de dados geográficos entre o local da fonte e reservatório e, também, por meio da pesquisa bibliográfica, encontrou-se, calculando as perdas de carga nas tubulações, a altura manométrica, potência requerida pela bomba e componentes do sistema fotovoltaico. Ainda, a avaliação dos resultados e uma análise das possibilidades que atendem a demanda da propriedade, concluiu que um sistema composto por uma bomba de 245 watts, painel fotovoltaico de 330 watts e bateria de 400 Ah é a melhor opção técnica e econômica, suficiente para abastecer 4500 litros diariamente à uma distância de 350 metros e 25,68 metros de altura manométrica com autonomia de 2 dias, atingindo assim o objetivo deste trabalho.

Palavras-chave: Perda de carga. Sistema de recalque. Sistema fotovoltaico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Campo de aplicação de bombas.....19
Figura 2 - Vista em corte de uma bomba centrífuga 20
Figura 3 - Componentes de uma bomba de pistão 21
Figura 4 - Bomba rotativa de lóbulos. a) Bomba rotativa de dois lóbulos e b) bomba rotativa de três lóbulos. 22
Figura 5 - Vista interna de um bomba de palhetas.....23
Figura 6 - Diâmetro hidráulico 28
Figura 7 - Coeficiente de forma (ks) 29
Figura 8 - Células de silício policristalino 33
Figura 9 - Componentes de um módulo 34
Figura 10 - Fatores de perda em um sistema fotovoltaico 35
Figura 11 - Fatores de perda em um sistema fotovoltaico 36
Figura 12 – Ciclos de carga e descarga em função da profundidade de descarga de uma bateria de chumbo-ácido.....38
Figura 13 - Tipos de onda de saída dos inversores 41
Figura 14 - Insolação média anual no Brasil 43
Figura 15 - Localização da fonte de água e reservatório 45
Figura 16 - Gráfico do diâmetro versus perda de carga versus potência exigida.....50
Figura 17 - Curva de funcionamento da bomba selecionada.....54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Viscosidade cinemática da água 25
Quadro 2 - Incremento de potência em motores elétricos 30
Quadro 3 – n_{qA} para diferentes tipos de máquinas 31
Quadro 4 - Eficiência de algumas células fotovoltaicas 33
Quadro 5 - Inversores encontrados comercialmente 58
Quadro 6 - Baterias disponíveis comercialmente 62
Quadro 7 - Painéis fotovoltaicos considerados para a análise 63
Quadro 8 - Controladores de carga considerados na análise 64
Quadro 9 - Potência do painel fotovoltaico para diferentes bombas 65
Quadro 10 - Conjuntos com menor custo estimado 66
Quadro 11 - Estimativa de custo total de instalação 699

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÂO.....12

1.1 TEMA 143

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....144

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA 144

1.4 JUSTIFICATIVA 15

1.5 OBJETIVOS 155

1.5.1 Objetivo Geral 16

1.5.2 Objetivos Específicos 166

2 REVISÃO DA LITERATURA 17

2.1 SISTEMA DE RECALQUE.....177

2.1.1 Máquina de fluido 177

2.1.2 Bombas hidráulicas 18

2.1.3 Bombas centrífugas.....1919

2.1.4 Bombas rotativas.....200

2.1.4.1 Bomba de êmbolo ou pistão.....20

2.1.4.2 Bomba de diafragma 21

2.1.4.3 Bomba de engrenagens 22

2.1.4.4 Bomba de lóbulos.....222

2.1.4.5 Bomba de palhetas.....23

2.1.5 Vazão 233

2.1.6 Número de Reynolds.....24

2.1.6.1 Escoamento laminar.....25

2.1.6.2 Escoamento turbulento.....25

2.2 PERDA DE CARGA 26

2.2.1 Rugosidade do encanamento.....26

2.2.1.1 Perdas de carga em encanamentos.....26

2.2.1.2 Perda de carga distribuída.....27

2.2.1.3 Perda de carga singular.....28

2.3 POTÊNCIA MOTRIZ 29

2.3.1 Velocidade de rotação específica.....30

2.4 ENERGIA SOLAR 31

2.5 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS 32

2.5.1 Célula de silício monocristalino 32

2.5.2 Célula de silício policristalino.....32

2.5.3 Célula de silício amorfo 33

2.6 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTÁICO 34

2.6.1 Módulo fotovoltaico 34

2.6.2 Banco de baterias 36

2.6.3 Controlador de carga.....38

2.6.3.1 Controladores convencionais.....39

2.6.3.2 Controladores com PWM 39

2.6.3.3 Controladores com MPPT.....40

2.6.4 Inversor 41

2.7 ORIENTAÇÃO DO PAINEL SOLAR 42

2.7.1 Inclinação 42

2.7.2 Horas de sol a pico.....42

3 METODOLOGIA 44

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....44

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 47

4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE RECALQUE 47

4.1.1 Vazão de sucção.....47

4.1.2 Diâmetro hidráulico da tubulação de sucção 47
4.1.3 Fator de atrito 48
4.1.4 Perda de carga na sucção 48
4.1.4.1 Perda de carga singular 48
4.1.4.2 Perda de carga distribuída 49
4.1.5 Velocidade de escoamento recalque 49
4.1.6 Fator de atrito no recalque 50
4.1.7 Perda de carga no recalque 51
4.1.7.1 Perda de carga singular 51
4.1.7.2 Perda de carga distribuída 52
4.1.8 Altura manométrica total 52
4.1.9 Potência motriz 52
4.1.9.1 Velocidade de rotação específica 53
4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTÁICO 54
4.2.1 Demanda diária 54
4.2.2 Potência do inversor 57
4.2.3 Módulo fotovoltaico 59
4.2.4 Banco de baterias 61
4.2.5 Controlador de carga 63
4.2.6 Inclinação do painel 64
4.3 TOMADA DE DECISÃO 64
CONCLUSÃO 70
REFERÊNCIAS 72
APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DA SUCÇÃO 75
APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DO RECALQUE 76
APÊNDICE C – CÁLCULOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO 77
APÊNDICE D – DIAGRAMA DE MOODY 78

APÊNDICE E - ORÇAMENTO PARA BOMBA DE 245 W UTILIZANDO CONTROLADOR PWM 79

APÊNDICE F – ORÇAMENTO PARA BOMBA DE 245 W UTILIZANDO CONTROLADOR MPPT 80

APÊNDICE G – ORÇAMENTO PARA BOMBA DE 370 W UTILIZANDO CONTROLADOR PWM 81

APÊNDICE H – ORÇAMENTO PARA BOMBA DE 370 W UTILIZANDO CONTROLADOR MPPT 82

APÊNDICE I – ORÇAMENTO DE UMA REDE DE ENERGIA ELÉTRICA 83

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e social da sociedade brasileira e mundial está diretamente associado à diversificação de sua matriz energética. Além da dependência e da previsão de crescimento do consumo de energia elétrica, a questão ambiental é uma preocupação evidente quanto ao uso de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis. Apesar da crise econômica, o cenário atual se mostra positivo em relação à mudança na matriz energética brasileira. O Relatório de Acompanhamento da Implantação de Novos Empreendimentos de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017) mostra que, da potência de geração em novos empreendimentos, 19% e 7% são de energia eólica e energia solar fotovoltaica, respectivamente.

Assim, revela-se a importância da exploração das fontes renováveis de energia, a fim de diversificar a produção, proporcionando autossuficiência com menor impacto ambiental. Segundo o Boletim de Informações Gerais, disponibilizado pela ANEEL, apesar do Brasil apresentar uma das matrizes mais renováveis do mundo, em 2017, a energia hídrica representou 61,1% da potência instalada, enquanto que a energia eólica participou com 6,8% e a energia solar fotovoltaica não passou de 0,1%.

Em um país com dimensões continentais, como o Brasil, a existência de locais sem a disponibilidade de energia elétrica convencional e o pouco estímulo ao investimento em fontes de geração alternativas de energia, isoladas da rede, ainda dificulta o abastecimento para consumo doméstico, produção de alimentos e outras formas de geração de renda. Levantamentos da ANEEL indicam que, em 2017, em torno de 1 milhão de brasileiros não tinham acesso à energia elétrica. Esta carência de energia atinge principalmente as pequenas propriedades, comprometendo a qualidade de vida, comunicações e o abastecimento de água, necessária para atender a diversificação na produção de alimentos, fundamental para o equilíbrio da receita da propriedade contribuindo, também, para evitar o êxodo rural. Neste contexto, a geração de energia fotovoltaica aparece como uma ótima opção de utilização para viabilizar estas aplicações.

A importância das pequenas propriedades rurais e da agricultura familiar mostra-se em números. Além da importância vinculada ao abastecimento do

mercado interno, onde a agricultura familiar corresponde, entre outros, a 58% da produção de leite, 87% de mandioca e 59% da produção de suínos, ela também é responsável por 74% da mão de obra brasileira no campo (EMBRAPA, 2017). No Rio Grande do Sul, o Sistema Nacional de Cadastro Rural de responsabilidade do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), mostra que as propriedades de até 15 hectares correspondem à 98% do total de imóveis ativos inscritos.

As pequenas propriedades rurais, em sua maioria, dependem da água proveniente de poços próprios, que requerem a utilização de energia elétrica para o bombeamento. A água pode ser, ainda, oriunda de poços artesianos, que atendem ao consumo de inúmeras propriedades a partir de um reservatório compartilhado. No modo compartilhado, o consumo de água requer uso racional e deve ser destinado somente ao consumo doméstico em geral, restringindo a utilização para a produção de alimentos, vegetais e animais. A utilização para fins produtivos, requer então, a utilização de fonte própria que não comprometa o abastecimento dos demais usuários, o que já é exigido, atualmente, pelas empresas integradoras na terminação de suínos.

A partir do contexto descrito, este trabalho se propõe a dimensionar um sistema de recalque de água para atender a demanda de uma granja de terminação de suínos de uma pequena propriedade rural, utilizando a energia fotovoltaica como fonte exclusiva de geração de energia. Assim, será apresentado o dimensionamento, seleção dos componentes do sistema de recalque e do sistema fotovoltaico necessários para o fornecimento da água proveniente de uma fonte natural (vertente) distante das redes de energia elétrica convencionais. Além disso, a partir das possibilidades que atendem à demanda da propriedade, será feita uma discussão acerca da opção mais adequada para a propriedade considerando aspectos técnicos e econômicos, na busca pelo sistema tecnicamente mais eficiente e economicamente, mais viável.

1.1 TEMA

Dimensionamento de um sistema de recalque de água que se utilize de energia fotovoltaica para o seu funcionamento, contando com o auxílio dos recursos e conhecimentos obtidos no curso de graduação em Engenharia Mecânica.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho delimita-se ao dimensionamento do sistema de recalque e geração de energia solar fotovoltaica e seus componentes para uma situação específica, vivenciada em uma propriedade rural do interior do município de Horizontina, Rio Grande do Sul.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A sustentabilidade de uma pequena propriedade rural depende, grande parte, da diversificação de suas receitas. A integração da produção de grãos, ovos, leite, bovinos e suínos é a forma encontrada por muitos produtores para eliminar os riscos da dependência de uma única receita e permitir o equilíbrio financeiro. No caso da terminação de suínos, é necessário certo volume de água, a depender da quantidade de animais, para o consumo direto destes, abastecimento do sistema de alimentação e demandas relacionadas a limpeza e funcionamento do lavabo da granja. E, para não comprometer a atividade, é necessária a garantia do suprimento de água durante todo o período de alojamento dos animais.

A fonte de água que irá abastecer a granja, localizada no interior do município de Horizontina, situa-se distante das redes de energia elétrica, fazendo-se necessária a instalação de uma rede específica para o aproveitamento da mesma ou a utilização de energia fotovoltaica, mais adequada entre as fontes alternativas disponíveis para a situação apresentada.

Visando o menor impacto econômico e também o menor custo de operação, propõe-se a utilização da energia fotovoltaica para acionar o sistema de recalque. O problema identificado refere-se ao dimensionamento do sistema de recalque de água que supra o abastecimento da granja e que seja alimentado exclusivamente com energia fotovoltaica.

Baseado no exposto, a pesquisa busca responder a seguinte pergunta: quais especificações técnicas deve possuir o sistema de recalque de água e geração de energia fotovoltaica para abastecer a granja?

1.4 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento e aperfeiçoamento de fontes de energia alternativa abrange uma das possíveis atuações de um engenheiro mecânico, frente a demanda de profissionais qualificados para um mercado crescente que envolve a criação e suporte à melhorias na eficiência de novas tecnologias.

A presente pesquisa carrega uma vasta contribuição socioambiental ao trazer uma alternativa sustentável na geração de energia para o aproveitamento de água de regiões afastadas, viabilizando o abastecimento residencial e agropecuário, tanto da propriedade pesquisada quanto das demais aplicações que sofrem da mesma carência.

Além do já exposto, o problema a ser solucionado envolve a aplicação de conhecimentos de diferentes áreas da engenharia, tais como a mecânica dos fluidos, máquinas de fluxo e fontes alternativas de energia, permitindo reuni-los na solução do problema, através da proposta de um sistema de recalque de água movido a energia fotovoltaica. A utilização da energia solar fotovoltaica e demais fontes alternativas de energia é essencial e será inevitável ao desenvolvimento de uma sociedade que tem sua matriz energética ainda dependente de recursos finitos e pouco ecológicos.

Como engenheiro mecânico, será de grande importância pessoal e profissional, a participação no desenvolvimento e incentivo às fontes alternativas de energia, contribuindo desde o estudo e evolução de componentes e equipamentos que agreguem maior eficiência e economia, até o projeto de instalações como neste estudo. Assim, justifica-se este projeto.

1.5 OBJETIVOS

Dimensionar um sistema de recalque de água que forneça um volume de 4500 litros diariamente, necessário para abastecer uma granja com capacidade

máxima de alojamento de 450 animais, utilizando-se de energia fotovoltaica como fonte exclusiva para o acionamento do sistema.

1.5.1 Objetivo Geral

O trabalho proposto tem como objetivo geral dimensionar os componentes necessários a um sistema de recalque de água, bem como do sistema de geração de energia fotovoltaica que irá acionar o recalque, para que este garanta o abastecimento de 4500 litros/dia à uma granja de terminação de suínos. A utilização da energia fotovoltaica como fonte para o sistema irá proporcionar além da sustentabilidade, que é característico das energias renováveis, um menor impacto ambiental na propriedade, eliminando a necessidade de instalação de rede de energia na área destinada a produção de grãos.

1.5.2 Objetivos Específicos

Alinhados ao objetivo geral proposto, os objetivos específicos deste trabalho são:

- ✓ Determinar a perda de carga nas tubulações;
- ✓ Determinar a potência requerida pela bomba;
- ✓ Determinar a potência necessária ao painel fotovoltaico;
- ✓ Conhecer as perdas na geração de energia fotovoltaica;
- ✓ Determinar a capacidade de armazenamento do banco de baterias;
- ✓ Determinar as especificações técnicas dos equipamentos auxiliares do sistema fotovoltaico;
- ✓ Estimar o custo de instalação do sistema;
- ✓ Escolher a opção mais adequada, dentre as alternativas, para o atendimento da demanda necessária.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Segundo Souza (1991), para o dimensionamento de qualquer sistema que envolva máquinas de fluido é indispensável o conhecimento das características físicas e químicas do fluido e, também, das características do recalque, como altura, distância, vazão e altura de sucção.

Além da apresentação destas características, descreve-se os conceitos relacionados à sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, necessários ao dimensionamento do sistema de alimentação.

2.1 SISTEMA DE RECALQUE

2.1.1 Máquina de fluido

Máquina de fluido é o equipamento que promove a troca de energia entre um sistema mecânico e um fluido, transformando energia mecânica em energia de fluido ou energia de fluido em energia mecânica. Designa-se máquina de fluido geradora ou máquina geratriz aquela que aumenta a energia associada ao fluido a partir do fornecimento de energia mecânica. No caso em que a energia mecânica é produzida a partir da redução do nível energético de um fluido a máquina é designada como máquina de fluido motora ou máquina motriz hidráulica (HENN, 2012).

As máquinas de fluido podem ainda ser divididas em máquinas de deslocamento positivo e máquinas de fluxo. Quando uma quantidade de fluido que atravessa a máquina é confinada, num espaço delimitado por componentes mecânicos, e posteriormente liberada ou obrigada a deixar este espaço, mudando seu estado energético, esta máquina é definida como de deslocamento positivo.

Já nas máquinas de fluxo, em momento algum o fluido se encontra confinado, mantendo um fluxo contínuo através da máquina, trocando seu estado energético devido a efeitos dinâmicos (HENN, 2012).

Dentre as máquinas de fluido geradoras disponíveis, estão as bombas, equipamentos muito utilizados em instalações residenciais e comerciais na

movimentação contínua de água. A seguir, serão apresentadas algumas dentre as existentes e que poderão atender a aplicação do estudo.

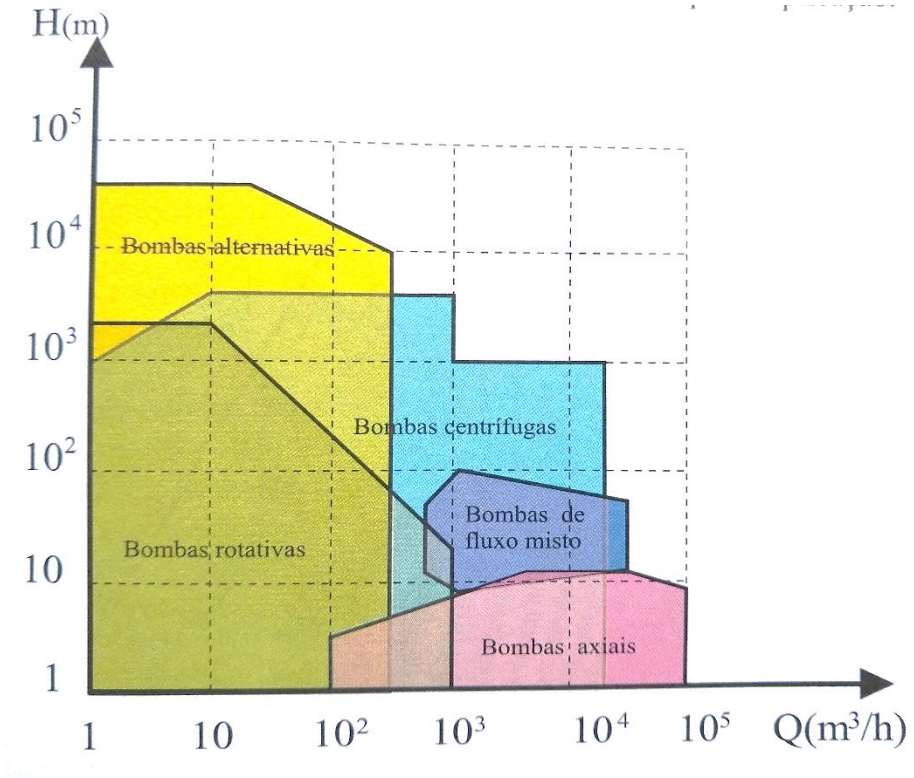
2.1.2 Bombas hidráulicas

Para Macintyre (1997), bombas são máquinas de fluido geradoras, cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. A bomba, sendo uma máquina geratriz, transforma o trabalho mecânico que recebe, geralmente fornecido por uma máquina motriz, como um motor elétrico, em energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética.

O campo de aplicação dos diferentes tipos de bombas é muito amplo, muitas vezes sujeito a superposições, tornando difícil definir a utilização de uma máquina de deslocamento positivo ou uma máquina de fluxo para determinada operação. A seleção da máquina ideal leva em consideração diversos critérios, contemplando vazão, altura de elevação, viscosidade do fluido bombeado, presença de sólidos em suspensão, facilidade de manutenção, custos entre outros.

Henn (2012) sugere a utilização do campo de aplicação apresentado na figura 1 para a seleção da máquina mais adequada para um determinado tipo de aplicação. Percebe-se na figura que, para grandes e médias vazões de fluido predominam as máquinas de fluxo (bombas centrífugas, bombas de fluxo misto e bombas axiais). Enquanto que na faixa de médias e grandes alturas de elevação dominam as bombas alternativas e rotativas.

Figura 1 - Campo de aplicação de bombas



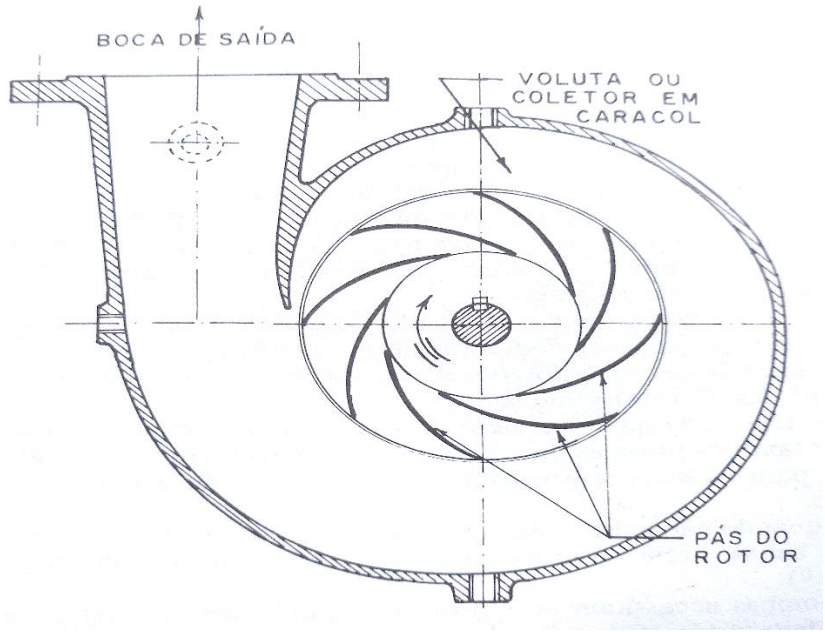
Fonte: Henn, 2012, p. 31.

2.1.3 Bombas centrífugas

As bombas centrífugas pertencem a classe das turbobombas. Estas máquinas são caracterizadas por possuírem um rotor, órgão rotatório dotado de pás, que exerce forças sobre o líquido que resultam da aceleração que lhe imprime (MACINTYRE, 1997).

O rotor, que gira em torno de seu próprio eixo produzindo movimentos de rotação, tem a finalidade de comunicar a aceleração à massa líquida, transformando a energia mecânica dotada em si em energia cinética ao líquido. Nas bombas centrífugas, o líquido penetra paralelamente ao eixo no rotor e então direcionado à periferia pelas pás, conforme a figura 2.

Figura 2 - Vista em corte de uma bomba centrífuga



Fonte: Macintyre, 1997, p. 44.

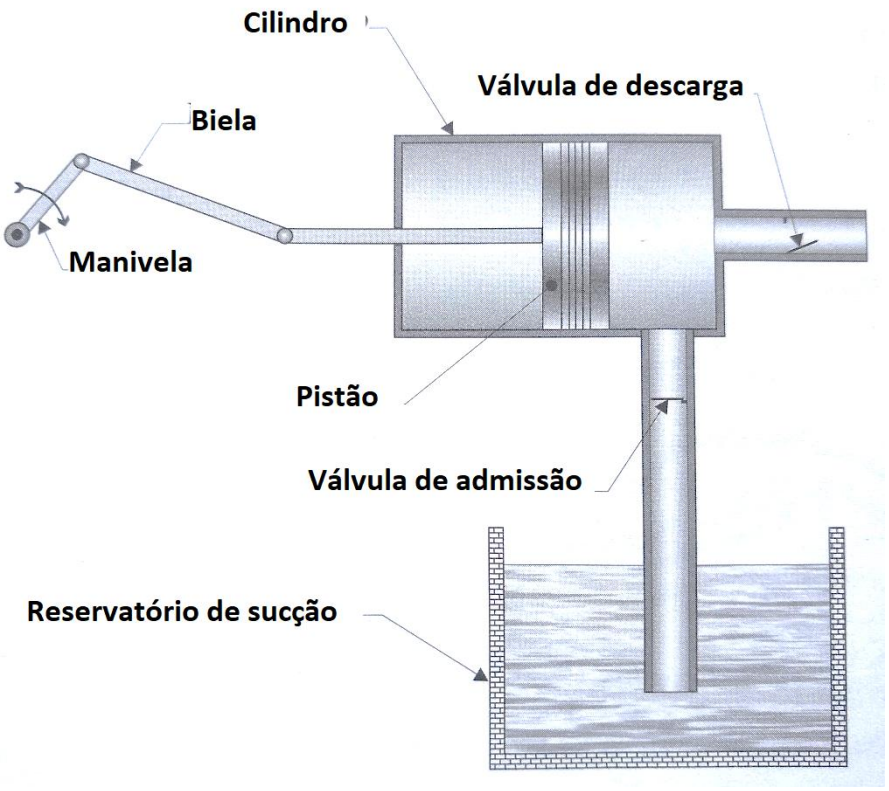
De acordo com Macintyre (1997), devido a sua simplicidade construtiva facilitar a fabricação em série, a utilização das bombas centrífugas é estendida à grande maioria das instalações comuns de recalque de água limpa, chegando a descargas de 5 a 500 l/s (litros por segundo), e para pequenas, médias e grandes alturas de elevação.

2.1.4 Bombas rotativas

2.1.4.1 Bomba de êmbolo ou pistão

Como pode ser visto na figura 3, nesta máquina o movimento de rotação do motor é transformado em movimento de deslocamento retilíneo alternativo de um pistão ou êmbolo no interior de um cilindro. O acionamento é realizado por meio de um mecanismo biela-manivela.

Figura 3 - Componentes de uma bomba de pistão



Fonte: Adaptado de Henn, 2012, p. 421.

As bombas alternativas de pistão podem ser de simples ou duplo efeito, dependendo se o pistão possui um ou dois cursos ativos. Nas bombas de duplo efeito o liquido é recalcado tanto na ida quanto na volta do pistão (HENN, 2012).

2.1.4.2 Bomba de diafragma

É uma bomba alternativa em que o pistão é substituído por uma membrana (elemento elástico). Este elemento pode ser fabricado de qualquer material elástico, borracha, plástico, metal, dependendo do fluído a ser recalcado. O acionamento pode ser de forma mecânica, hidráulica ou pneumática.

Conforme Henn (2012), as bombas de diafragma são indicadas tanto para o bombeamento de líquidos puros como para líquidos contendo materiais abrasivos, ou produtos químicos ou corrosivos, de qualquer viscosidade.

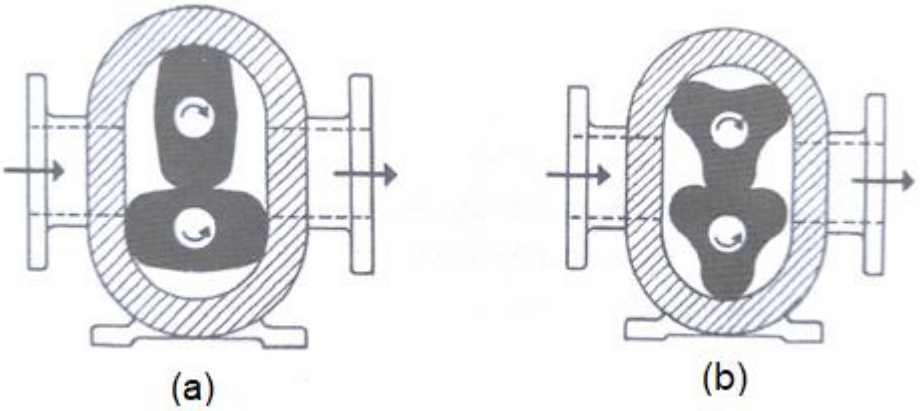
2.1.4.3 Bomba de engrenagens

Este tipo de bomba é constituído de duas engrenagens, podendo ser de engrenamento interno ou externo, que giram no interior de uma carcaça. O giro das engrenagens provoca uma depressão no lado de entrada, fazendo com que o líquido seja succionado. Deste ponto, conhecido como câmara de sucção, o líquido é transportado até a câmara de pressão na descarga da bomba, em lado oposto ao de sucção. O transporte ocorre através dos espaços compreendidos entre os dentes das engrenagens e a parede interna da carcaça (HENN, 2012).

2.1.4.4 Bomba de lóbulos

Semelhante as bombas de engrenagens, nesta máquina o líquido desloca-se pela ação de rotores lobulares, em forma de perfis conjugados, (figura 4). Na figura vê-se que os rotores lobulares giram no interior de uma carcaça ovalada, de maneira sincronizada, que acontece pela ação de engrenagens externas, na bomba (a) com dois lóbulos e na bomba (b) com três lóbulos. São bombas muito empregadas na indústria alimentícia por serem apropriadas para o bombeamento de líquidos viscosos e com sólidos em suspensão (HENN, 2012).

Figura 4 - Bomba rotativa de lóbulos. a) Bomba rotativa de dois lóbulos e b) bomba rotativa de três lóbulos.



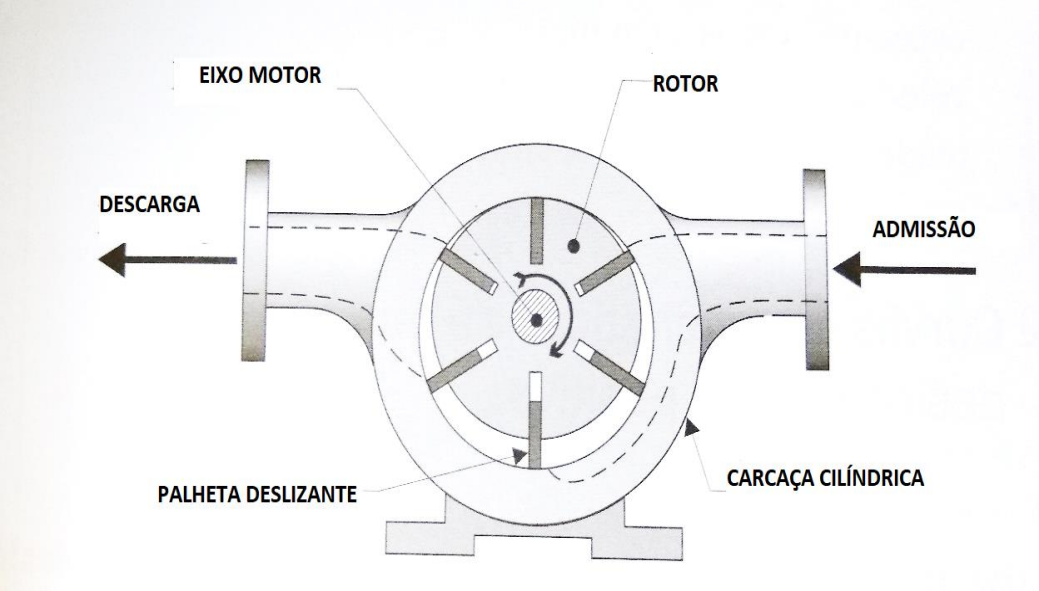
Fonte: Adaptado de Henn, 2012, p. 441.

2.1.4.5 Bomba de palhetas

A bomba de palhetas possui um rotor excêntrico, em forma de tambor, com ranhuras no interior das quais deslizam palhetas que, durante o giro, são pressionadas contra a carcaça cilíndrica por ação da força centrifuga (HENN, 2012).

A figura 5 melhor demonstra o seu funcionamento. O fluido é confinado no espaço entre as palhetas e conduzido, através da variação do volume deste espaço entre as palhetas, que aumenta progressivamente até atingir seu valor máximo, quando passa a decrescer, até o fluido alcançar a descarga da bomba.

Figura 5 - Vista interna de um bomba de palhetas



Fonte: Adaptado de Henn 2012, p.443.

2.1.5 Vazão

Vazão corresponde ao volume de fluido que atravessa uma determinada seção de escoamento, em um determinado período de tempo (BRUNETTI, 2008). A vazão volumétrica corresponde ao volume de um fluido que escoa por uma determinada seção, por unidade de tempo, conforme Equação (1).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão (m³/s)

V = volume (m³)

t = tempo (s)

A vazão pode ser considerada um elemento crítico neste projeto, pois caso o bombeamento não atenda a demanda necessária, o abastecimento da granja será comprometido e, consequentemente, o bem estar e saúde dos animais.

2.1.6 Número de Reynolds

Segundo Fox, Pritchard e McDonald (2011), o número de Reynolds é um número adimensional que caracteriza o comportamento global de um fluido. A partir dele, pode-se determinar a natureza do escoamento (laminar ou turbulento) dentro de um tubo ou sobre uma superfície. Pode-se dizer ainda, que o número de Reynolds caracteriza a resistência que os líquidos oferecem ao escoamento, e pode ser dado pela Equação (2).

$$Re = \frac{d*v}{\mu} \tag{2}$$

Onde:

Re = número de Reynolds

d = diâmetro do conduto (m)

v = velocidade média do fluido (m/s)

μ = viscosidade cinemática do fluido (m²/s)

A viscosidade cinemática é o resultado da relação entre a viscosidade dinâmica pela densidade do fluido. A viscosidade dinâmica, por sua vez, é a resistência dada em termos de força requerida para que se mova uma unidade de área a uma unidade de distância. A viscosidade cinemática da água pode ser obtida no quadro 1, conforme sugere Macintyre (1997).

Quadro 1 - Viscosidade cinemática da água

Temperatura (°C)	Viscosidade cinemática (m².s)	Temperatura (°C)	Viscosidade cinemática (m².s)
0	0,000001792	20	0,000001007
2	0,000001763	22	0,000000960
4	0,000001567	24	0,000000917
6	0,000001473	26	0,000000876
8	0,000001386	28	0,000000839
10	0,000001308	30	0,000000830

Fonte: Adaptado de Macintyre, 1997, p. 639.

Já para a velocidade do fluido (água), Telles e Barros (1978) recomendam a utilização de velocidade de 1 a 2,5 m/s para sucção de bombas. Estes valores servem apenas como primeira aproximação.

2.1.6.1 Escoamento laminar

Para Souza (2014), o escoamento laminar ocorre quando as partículas de um fluido movem-se ao longo de trajetórias bem definidas, tendendo a percorrer trajetórias paralelas, apresentando lâminas ou camadas e tendo cada uma delas a sua característica preservada no meio.

Conforme Macintyre (1997), no regime laminar o número de Reynolds é inferior a 2320 (Re < 2320), e o valor 2320 é chamado de Reynolds crítico.

2.1.6.2 Escoamento turbulento

Quando as partículas de um fluido não se movem ao longo de trajetórias bem definidas, ou seja, trajetórias irregulares, produzem uma transferência de quantidade de movimento entre as regiões de massa líquida, e este escoamento é denominado de turbulento (SOUZA, 2014).

No regime turbulento, o número de Reynolds é caracterizado como Re > 4000. Entre os dois limites, de regime laminar e turbulento (2320 < Re < 4000), considera-se como regime crítico, podendo ser tanto laminar quanto turbulento (MACINTYRE, 1997).

2.2 PERDA DE CARGA

2.2.1 Rugosidade do encanamento

Dependendo do material de que são fabricados e do tempo em uso, as paredes internas dos encanamentos podem apresentar rugosidade, que geralmente é medida em milímetros.

Segundo Macintyre (1997), na prática, usa-se um valor médio para a rugosidade, conhecida como rugosidade efetiva ou equivalente, pois a rugosidade absoluta, que é a altura média das saliências de uma superfície, não é uniforme. Sendo assim, a rugosidade média será o quociente da rugosidade efetiva pelo diâmetro interno do encanamento, conforme Equação (3).

$$\epsilon_m = \frac{\epsilon}{d} \tag{3}$$

Onde:

ϵ_m = rugosidade média

ϵ = rugosidade efetiva do material

d = diâmetro interno do encanamento

2.2.1.1 Perdas de carga em encanamentos

Segundo Macintyre (1997), a perda de carga entre dois pontos de um encanamento pode ser definida como a perda de energia dinâmica do fluido entre estes pontos. A perda de energia dinâmica se deve ao atrito das partículas do fluido entre si ou com as paredes da tubulação.

Para Brunetti (2008), a perda de carga representa a energia perdida pela unidade de peso do fluido quando este escoa. O mesmo ainda diz que o comportamento do escoamento de fluidos em condutos pode ser distinguido em dois tipos, a perda de carga distribuída e a perda de carga singular.

2.2.1.2 Perda de carga distribuída

Este tipo de perda é considerada apenas para condutos relativamente longos, pois ela ocorre de forma distribuída ao longo de tubos retos e de seção constante, devido ao atrito entre as próprias partículas do fluido (BRUNETTI, 2008).

Pela Equação 4, a perda de carga distribuída depende, além do diâmetro do encanamento, da velocidade de escoamento e do coeficiente de atrito. O coeficiente de atrito, também chamado de fator de resistência, pode ser obtido a partir do número de Reynolds e da rugosidade relativa do conduto, conforme anexo A.

$$h_f = f * \frac{L}{D_h} * \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

Onde:

h_f= perda de carga distribuída (m)

f = fator de atrito

L = comprimento do conduto (m)

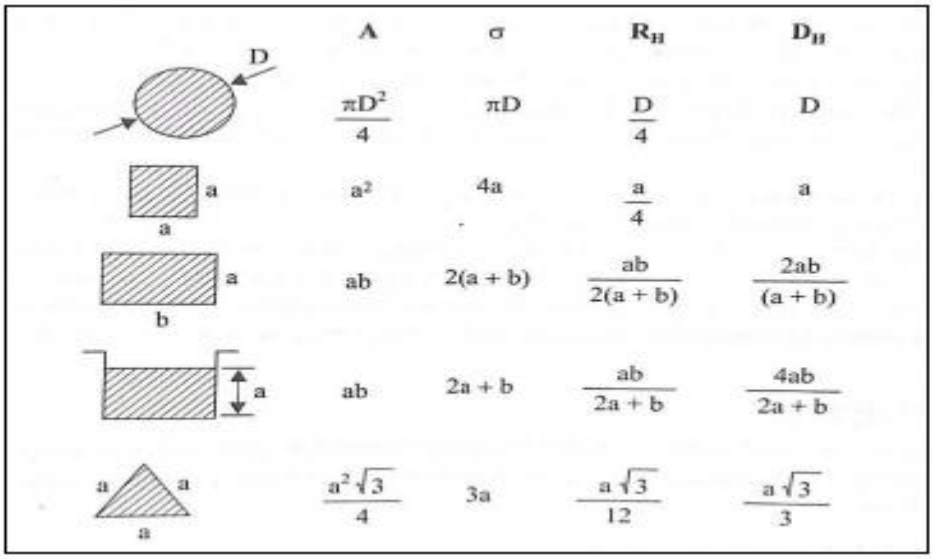
v = velocidade do fluido (m/s)

D_h = diâmetro hidráulico (m)

g = aceleração da gravidade (m/s²)

O diâmetro hidráulico solicitado na equação 4 vai depender da área transversal do conduto utilizado que, neste caso, é circular e pode ser igualado ao diâmetro interno do conduto conforme sugerido na figura 6.

Figura 6 - Diâmetro hidráulico



Fonte: Brunetti, 2008, p. 164.

2.2.1.3 Perda de carga singular

Ela acontece em locais da instalação em que o fluido sofre perturbações bruscas no seu escoamento. Por não depender do comprimento da tubulação estas perdas podem ser relativamente grandes em trechos curtos, pois estão relacionados a presença de válvulas, mudanças de direção e alargamento ou estreitamento da seção, entre outros, e pode ser calculada pela Equação (5) (BRUNETTI, 2008).

$$h_s = k_s * \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Onde:

h_s = perda de carga singular (m)

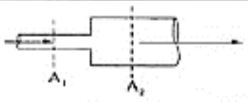
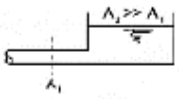
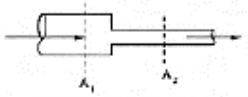
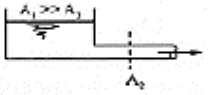
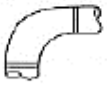
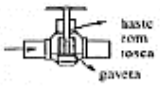
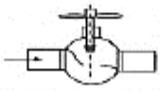
k_s = coeficiente de forma

v = velocidade do fluido (m/s)

g = aceleração da gravidade (m/s²)

Para o coeficiente de forma, que quantifica a influência das características geométricas da seção transversal no fluxo de escoamento do fluido, utilizou-se os valores apresentados na figura 7, a depender do tipo de restrição imposto à tubulação.

Figura 7 - Coeficiente de forma (*ks*)

Singularidade	Esquema	k_s
Alargamento		$(1 - A_1/A_2)$ (no caso, $v = v_1$)
Caso limite		1
Estreitamento		$\phi\ (A_1/A_2)$
Caso limite		0,5
Cotovelo a 90°		0,9
Válvula de gaveta		Totalmente aberta 0,2
Válvula tipo globo		Totalmente aberta 10
Válvula de retenção		0,5

Fonte: Brunetti, 2008, p. 185.

2.3 POTÊNCIA MOTRIZ

A potência motriz, também conhecida como consumo de energia da bomba, segundo Macintyre (1997), é a potência fornecida pelo motor ao eixo da bomba, podendo ser obtida através da Equação (6). Para o valor de rendimento (η) da bomba, o mesmo autor sugere que um valor razoável para estimativa é de 60% em bombas de baixa potência e 75% em bombas médias.

$$P_b = \frac{\gamma * Q * H}{75 * \eta} \quad (6)$$

Onde:

P_b= potência motriz (CV)

γ= peso específico da água (kgf/m³)

H= altura manométrica total (m)

η= rendimento da bomba

Para Macintyre (1997), como margem de segurança na escolha do motor elétrico, deve ser previsto um acréscimo percentual na potência calculada, valores estes apresentados no quadro 2.

Quadro 2 - Incremento de potência em motores elétricos

Potência motriz calculada (CV)	**Acréscimo (%)**
Até 2	50
3 a 5	30
6 a 10	25
11 a 25	15
Acima de 25	10

Fonte: Adaptado de Macintyre, 1997, p. 69.

2.3.1 Velocidade de rotação específica

A velocidade de rotação específica (n_{qA}) pode ser definida como “a velocidade de rotação de uma máquina de fluxo geometricamente semelhante à considerada, mas dimensionada para um salto energético especifico de 1 J/kg e uma vazão de 1m³/s” (HENN, 2012).

Esse número característico, constante para máquinas de fluxo semelhantes, é utilizado por fabricantes em seus catálogos como base para caracterizar séries de máquinas com geometria semelhante. Segundo Henn (2012), baseando-se em ensaios de modelos, pesquisadores e fabricantes determinaram faixas de valores em que as máquinas possuem o seu melhor rendimento. Assim, a velocidade de rotação específica facilita a seleção do tipo de máquina mais adequada à determinada aplicação, e seu valor, que é adimensional, pode ser obtido pela Equação 7.

$$n_{qA} = 10^3 * n * \frac{Q^{1/2}}{Y^{3/4}} \quad (7)$$

Onde:

n_{qA}= velocidade de rotação específica

n= rotação da máquina (rps)

Q= vazão (m³/s)

Y= salto energético específico (J/kg)

No quadro 3 encontra-se as faixas de valores correspondentes a algumas máquinas de fluido.

Quadro 3 – n_{qA} para diferentes tipos de máquinas

para bomba de deslocamento positivo	n_{qA} < 30
para bomba centrífuga	n_{qA} = 30 a 250
para bomba semi-axial ou de fluxo misto	n_{qA} = 250 a 450
para bomba axial	n_{qA} = 450 a 1000

Fonte: Adaptado de Henn, 2012, p. 118.

2.4 ENERGIA SOLAR

A energia solar que chega à superfície terrestre pode ser convertida para aproveitamento de duas maneiras. A energia solar térmica ou efeito fototérmico, que consiste na captação da irradiação do sol e conversão direta em calor, é amplamente utilizada no aquecimento de água, piscinas e climatização de ambientes. Já a energia solar fotovoltaica, ou efeito fotovoltaico, consiste na conversão da radiação luminosa do sol em eletricidade. Este fenômeno ocorre nas células fotovoltaicas, através do aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de um semicondutor quando este absorve luminosidade. Por isso, quanto maior for a radiação luminosa maior energia elétrica será gerada, e pode ser gerada mesmo em dias nublados ou chuvosos (SOUZA, 2010).

Algumas das vantagens da energia solar, para Farret (2010), são o fato de ser uma fonte perene e silenciosa, além de ser gratuita e não emitir poluentes. Além disso, segundo o autor, o Brasil é privilegiado em seu potencial de geração de energia solar, muito maior que a maioria dos países de primeiro mundo.

Dentre as desvantagens ou deficiências que podem afetar a geração de energia, podemos citar a variação sazonal na irradiação solar, com estações com menos horas de sol durante os dias e condições climatológicas adversas. Outro fator é o investimento inicial relativamente mais alto se comparado à sistemas convencionais, muito por se tratar de uma tecnologia que ainda está em desenvolvimento. Ainda assim, tem se mostrado uma ótima alternativa para geração de energia elétrica.

2.5 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A célula fotovoltaica, segundo Souza (2010), é a responsável pela conversão da radiação solar em eletricidade. Ela é a unidade fundamental para que ocorra a conversão e é constituída, basicamente, de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais empregado. Perdendo apenas para o oxigênio, o silício é o segundo material mais abundante na natureza. Porém ele está naturalmente combinado a outros materiais, como a areia e o quartzo e, para sua utilização nas células fotovoltaicas, deve permitir uma boa condução de eletricidade, o que faz necessário o seu beneficiamento atingir um elevado grau de pureza do material, acima dos 99%. Este processo de purificação que acaba encarecendo a criação das células fotovoltaicas.

2.5.1 Célula de silício monocristalino

A célula de silício monocristalino representa a primeira geração na utilização em módulos fotovoltaicos e justamente por isto é, historicamente, a mais usada e comercializada. Tem forma geralmente arredondada ou em formato de fatia de pizza. Geralmente apresenta coloração azul-escuro ou quase preto quando com antirreflexo, cinza ou azul-acinzentado sem antirreflexo. (SOUZA, 2010)

2.5.2 Célula de silício policristalino

O controle no processo de obtenção destas células exige menor rigor e menos energia no processo de purificação, o que as torna mais baratas se comparadas às células monocristalinas. Quanto à forma, é geralmente quadrada e coloração azul, com tratamento antirreflexo ou cinza prateado sem antirreflexo. Um detalhe da estrutura destas células fica bastante evidente (figura 8), durante o resfriamento no processo de obtenção, formam-se vários cristais de silício com orientações diversas, e por isso são visualmente facilmente reconhecidas pelo aspecto das imperfeições. (SOUZA, 2010)

Figura 8 - Células de silício policristalino

Fonte: Souza, 2010, p. 34.

2.5.3 Célula de silício amorfo

De acordo com Souza (2010) “o silício amorfo (sem forma) não possui uma estrutura cristalina, mas sim uma rede irregular”. Ela se difere das demais células por apresentar um alto grau de desordem na estrutura organizacional dos átomos. Mesmo tendo baixa eficiência na conversão se comparada as mono e policristalinas, o processo de fabricação simples e barato, que ainda possibilita a fabricação de células com grandes áreas, e o baixo consumo de energia na produção compensam essa deficiência. A coloração pode ser castanha avermelhada ou azul escuro e o formato é livre.

O quadro 4 traz a eficiência média dos tipos de células fotovoltaicas apresentados anteriormente, mais empregados em painéis solares.

Quadro 4 - Eficiência de algumas células fotovoltaicas

Material	Eficiência em laboratório	Eficiência em produção	Eficiência em produção em série
Silício Mono	24,70%	18%	14%
Silício Poli	19,80%	15%	13%
Silício Amorfo	13%	10,5%	7,5%

Fonte: Adaptado de Souza, 2010, p. 38.

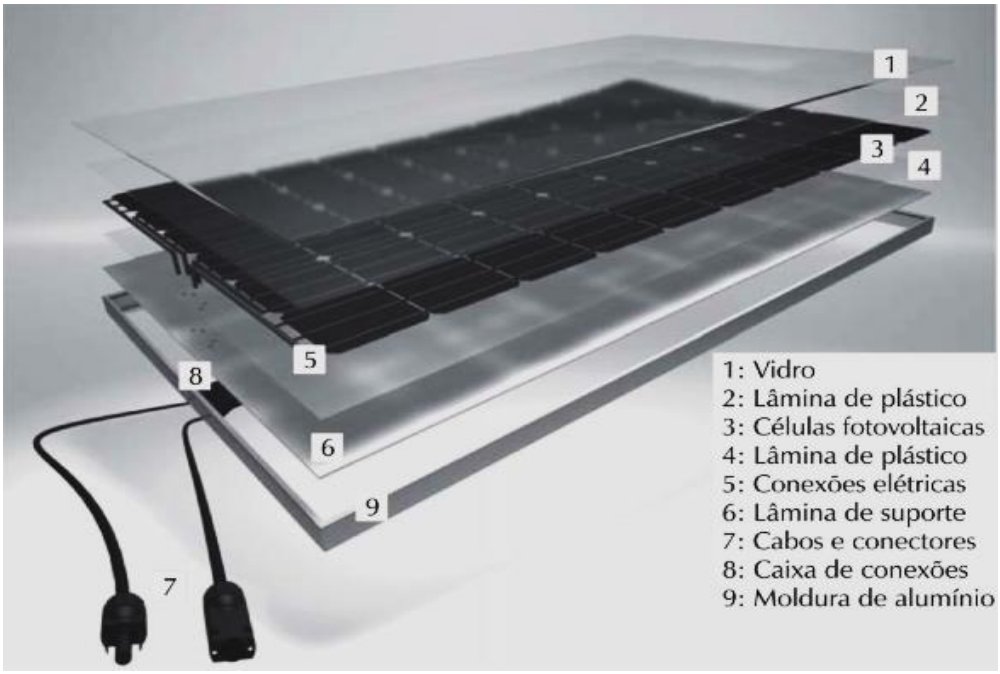
2.6 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTÁICO

2.6.1 Módulo fotovoltaico

Para alcançar a potência e tensão nominal comercialmente utilizada, os fabricantes conectam células fotovoltaicas entre si, geralmente em série, resultando em módulos de potência e tensão a depender do número e forma de ligação das células que a compõe. A conexão das células em um módulo é realizada por meio da soldagem dos terminais da parte frontal de uma célula à parte traseira da célula seguinte, e assim nas demais (SOUZA, [s.d.]).

Um módulo fotovoltaico é composto basicamente pelos componentes vistos na figura 9. As células (3) ficam encapsuladas entre duas camadas plásticas de EVA (acetato-vinilo de etileno) (2 e 4) e protegidas na parte superior por um vidro temperado especial com baixo índice de refletividade (1), e por uma camada de material isolante (backsheet) na parte inferior (6). O terminal do módulo está localizado na caixa de junção (8), e todos os componentes ficam agrupados em uma moldura (9), geralmente de alumínio.

Figura 9 - Componentes de um módulo



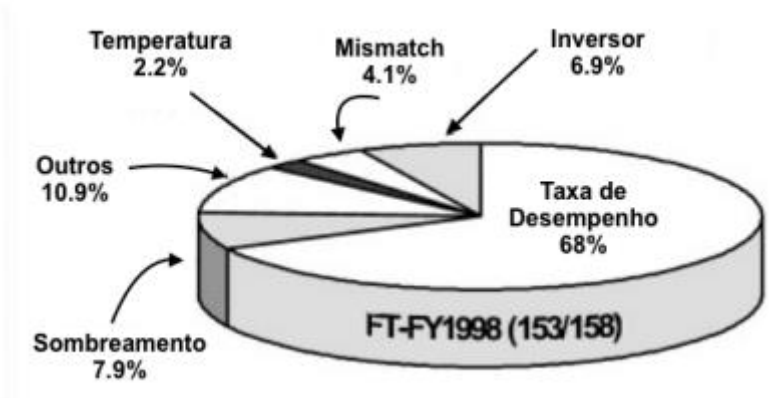
Fonte: Villalva, 2015, p.74.

Souza [s.d.] sugere que seja considerado um valor conhecido como Rendimento Global (R), devido às perdas em todos os elementos que compõem o sistema fotovoltaico para o dimensionamento do módulo. O valor médio do Rendimento Global é de 89% (0,89).

Adicionalmente, sabe-se que existem outros fatores de perda em um sistema fotovoltaico, uma vez que a potência de um painel é estabelecida a partir de condições padronizadas de teste em laboratório, sem a interferência de agentes externos. Estas condições, segundo Villalva (2015), consideram irradiância solar de 1000 W/m² e a temperatura da célula solar de 25° C.

Kurokawa (2001 apud ARAÚJO; RANK e BUENO, 2016, p.32), cita algumas das perdas de desempenho em sistemas fotovoltaicos. No estudo, representado na figura 10, o desempenho total obtido para um sistema é considerado em 68 %. Como se vê, entre os fatores estão consideradas as perdas por sombreamento, temperatura, inversor, *mismatch*, entre outros não especificados. O termo *mismatch* refere-se às perdas devido ao descasamento dos módulos associados.

Figura 10 - Fatores de perda em um sistema fotovoltaico



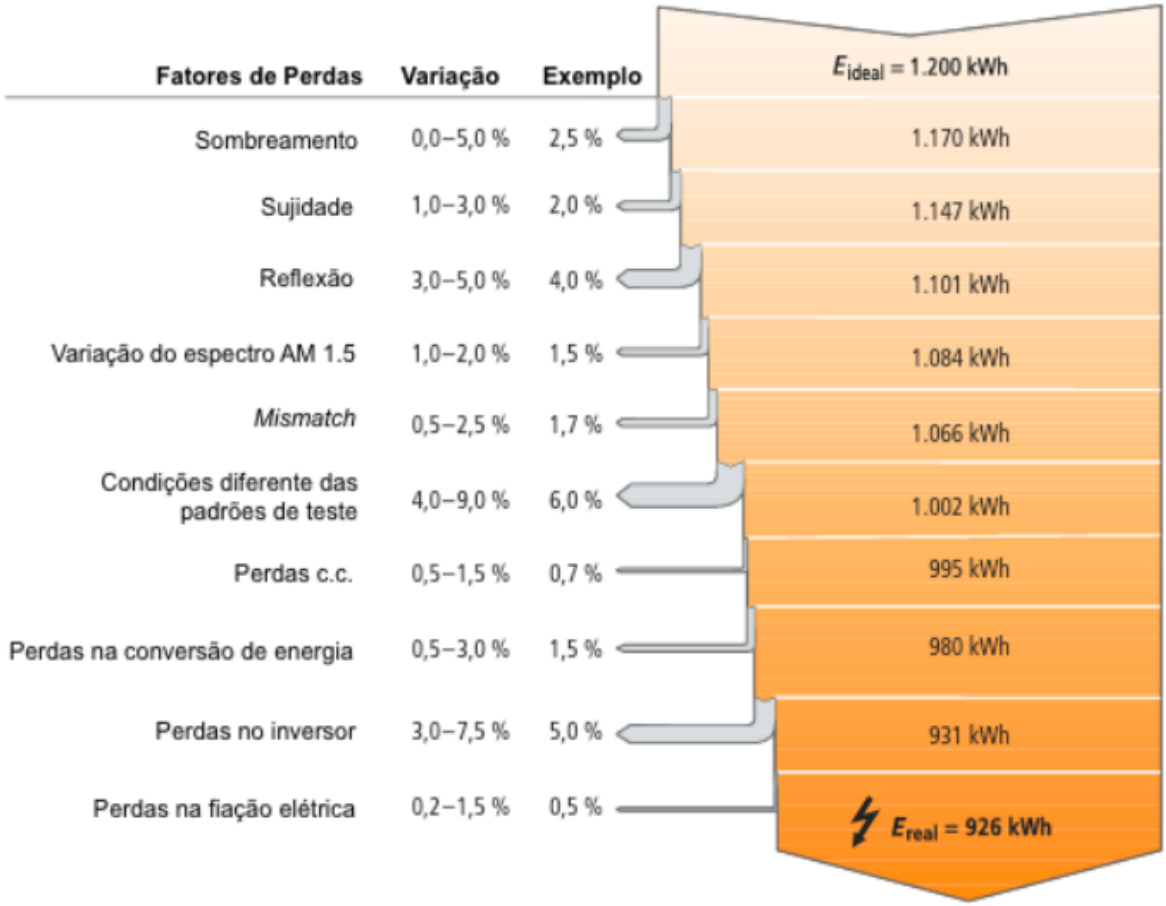
Fonte: Kurokawa (2001 apud ARAÚJO; RANK e BUENO, 2016, p.32)

Um estudo mais recente, realizado em 2013, conforme a Sociedade Alemã de Energia Solar (DGS) (2013 apud ARAÚJO; RANK e BUENO, 2016, p.33), traz o acréscimo de alguns fatores de perda. Como pode ser observado na figura 11, além das perdas já comentadas no primeiro estudo, tem-se o incremento de perdas por sujidade, reflexão, perdas no cabeamento e por diferença das condições padrões utilizadas nos testes. Somando os valores máximos de perda para cada fator, este

estudo aponta que a perda total no desempenho de um sistema fotovoltaico pode chegar a 40 %, valor próximo ao primeiro estudo realizado.

A figura traz, ainda, um exemplo para um sistema de geração fotovoltaico de 1200 kWh inicial. Considerando valores médios para cada fator de perda, o sistema entrega apenas 926 dos 1200 kWh iniciais que deveria gerar.

Figura 11 - Fatores de perda em um sistema fotovoltaico



Fonte: DGS (2001 apud ARAÚJO; RANK e BUENO, 2016, p.33)

2.6.2 Banco de baterias

Para armazenar energia suficiente para suprir as horas com ausência ou baixa incidência de luz solar, esta deve ser armazenada em uma bateria ou banco de baterias. A necessidade do emprego de baterias se dá em sistemas isolados, também conhecidos como off-grid, que não estão ligados a rede elétrica da concessionária de energia.

Nos sistemas isolados, além da função principal de dar autonomia em períodos nublados ou chuvosos, as baterias tem a função de estabilizar a tensão, que pode sofrer variações devido a irradiância recebida. A quantidade e a forma de conexão (série/paralelo) das baterias depende da demanda de potência e do período de autonomia que o sistema requer. De acordo com Souza [s.d.], as baterias geralmente empregadas para uso fotovoltaico costumam ser de chumbo-ácido ou de níquel-cadmio. As baterias de chumbo podem ser ainda de ácido líquido ou em gel e podem ser seladas ou abertas. As baterias de gel e seladas costumam ter um custo maior se comparadas às de ácido líquido abertas, também conhecidas por baterias com manutenção, devido a necessidade de reposição do líquido.

Nada impede de se utilizar baterias automotivas para o banco de armazenamento de energia, porém, não são as mais adequadas para aplicações que necessitam corrente elétrica por longos períodos.

> A bateria automotiva foi projetada para oferecer grande intensidade de corrente elétrica por um curto período de tempo e sofre rápidas descargas durante o acionamento do motor de arranque do veículo. Durante o funcionamento do veículo o alternador, que é um gerador de eletricidade, fornece toda a energia de que o automóvel precisa e a bateria é apenas recarregada (VILLALVA, 2015, p.103)

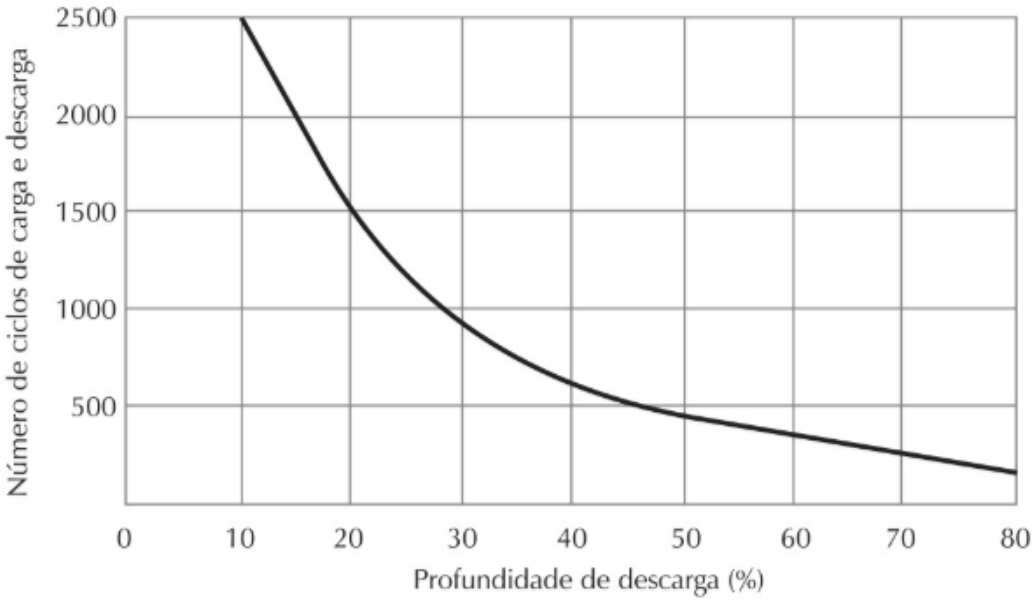
As baterias recomendadas para uso fotovoltaico denominam-se baterias estacionárias. Um diferencial no aspecto construtivo destas baterias, é que elas possuem placas metálicas mais grossas, o que permite o fornecimento de correntes constantes por períodos de tempo maiores. Isto permite, também, que elas tenham uma profundidade de descarga maior sem comprometer sua vida útil.

A vida útil de uma bateria é determinada pela quantidade de ciclos de carga e descarga que ela pode realizar, e essa quantidade está diretamente relacionada a profundidade de descarga empregada. Deve-se aproveitar apenas parte da energia acumulada, que equivale à profundidade de descarga, permitindo mais ciclos de carga e descarga à bateria. A profundidade de descarga é conhecida como *Pd,* e é fornecida pelos fabricantes.

No gráfico da figura 12 é apresentado o número de ciclos de carga e descarga possíveis em função da profundidade de descarga para uma bateria de

chumbo-ácido. Nota-se que, quanto menor a profundidade de descarga da bateria, mais ciclos está terá, e consequentemente maior a vida útil.

Figura 12 – Ciclos de carga e descarga em função da profundidade de descarga de uma bateria de chumbo-ácido



Fonte: Villalva, 2015, p.107.

A capacidade do banco de baterias (C_b) pode ser calculada pela Equação (8).

$$C_b = \frac{\frac{D_i * N1}{V_{banco}}}{P_d} \quad (8)$$

Onde:

D_i = demanda inicial de energia

N_1 = dias de autonomia

V_{banco}= tensão de operação do banco de baterias

P_d = profundidade de descarga

2.6.3 Controlador de carga

Em sistemas que operam com baterias, faz-se necessário o uso de um controlador de carga. Segundo Souza [s.d.], “o controlador (ou regulador) de carga/descarga aumenta o rendimento do sistema fotovoltaico e a vida útil (quantidade de ciclos) das baterias.”

Das inúmeras funções de um controlador de carga, podemos destacar as abaixo, encontradas na maioria deles:

- ✓ Perfeito controle de recarga da bateria
- ✓ Proteção contra sobrecargas
- ✓ Proteção contra descargas excessivas
- ✓ Informação do nível de carga da bateria

Pode-se citar basicamente três tipos de controladores de carga mais usuais: controladores convencionais, controladores com PWM e controladores com MPPT. A seguir, seguem as principais características de cada tipo de controlador.

2.6.3.1 Controladores convencionais

Dentre os existentes, segundo Villalva (2015), estes são os mais simples e mais empregados em sistemas fotovoltaicos. Também conhecidos como controladores do tipo liga/desliga, por possuírem basicamente uma única função: controlar a carga, desconectando o módulo quando a bateria atinge a carga máxima, e controlar a descarga, desconectando a carga de consumo quando a bateria atingir um nível de carga muito baixo.

2.6.3.2 Controladores com PWM

A tecnologia PWM (*Pulse Withd Modulation* – modulação de largura de pulso), faz com que estes sejam controladores mais sofisticados se comparados aos convencionais. De acordo com Villalva (2015), a presença de transistores e circuitos eletrônicos faz o controle preciso das correntes de carga da bateria. Um microprocessador faz com que o carregamento da bateria siga o perfil de carga nos estágios de carga pesada, absorção e flutuação, maximizando o uso da bateria e prolongando sua vida útil.

O estágio de carregamento pesado é considerado quando a bateria está totalmente descarregada ou com um nível de carga muito baixo, o que demanda a utilização da corrente máxima fornecida pelo painel fotovoltaico, até que a bateria atinja um determinado nível de tensão.

Quando a bateria atinge este nível de tensão, em torno de 14,4 volts a 15,4 volts, inicia-se o estágio de absorção, onde a bateria, que se encontra já

praticamente carregada, ainda pode absorver corrente para um carregamento lento até que chegue a 100% de sua capacidade.

No estágio de flutuação, a corrente da bateria tem uma intensidade baixa, indicando seu estado de carga completa. Assim, o controlador apenas mantém a bateria carregada, segundo Villalva (2015), controlando a tensão numa faixa de 13,2 volts a 13,8 volts.

2.6.3.3 Controladores com MPPT

Por serem os mais sofisticados e eficientes dentre os existentes, os controladores com MPPT (*Maximum Power Point Tracking* - rastreamento do ponto de máxima potência), são também os mais caros encontrados no mercado. Além da tecnologia PWM, o recurso presente neste tipo de controlador permite que o módulo fotovoltaico opere sempre em seu ponto de máxima potência, independente da condição de radiação solar e temperatura do módulo. Villalva (2015), afirma que o trabalho do MPPT permite que o módulo opere na tensão necessária para que se encontre no seu ponto de máxima potência, independente da tensão nos terminais da bateria. Isso faz com que os controladores com MPPT sejam os mais eficientes entre os demais.

Para os controladores que operam sem o recurso MPPT e desperdiçam parte da energia solar das primeiras e últimas horas do dia, estes devem ter considerado uma eficiência *(E_c)* de 90%. (SOUZA, [s.d])

Para a seleção do controlador de carga, Souza [s.d.] recomenda um fator de segurança igual a 25% da corrente de curto circuito do painel fotovoltaico utilizado, conforme vemos na Equação (9).

$$Controlador = I_{cc} * N_2 * 1{,}25 \quad (9)$$

Onde:

I_{cc} = corrente de curto circuito do painel

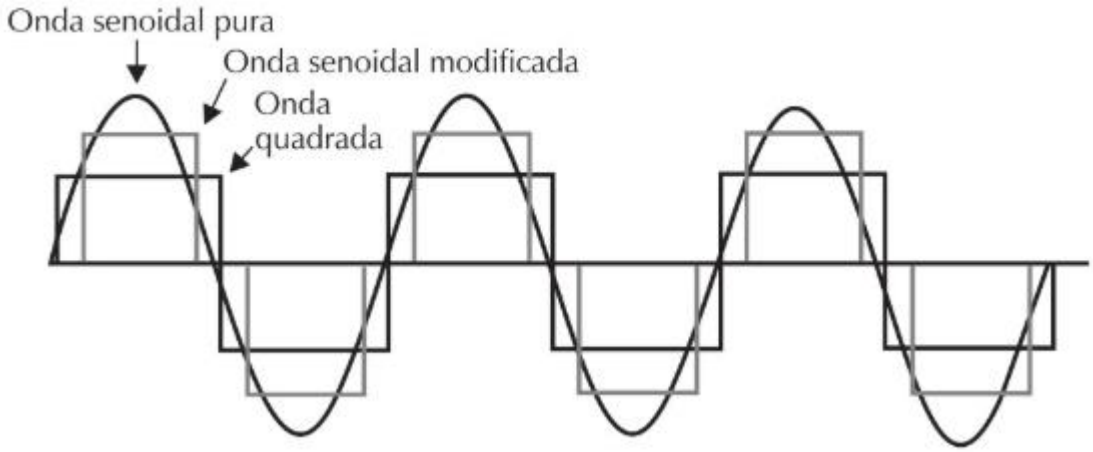
N_2 = número de painéis em paralelo

2.6.4 Inversor

Para a alimentação de equipamentos que operam em corrente alternada (CA) é necessário um inversor. Este aparelho é responsável em transformar a corrente continua gerada pelo sistema fotovoltaico (12V a 48V) em corrente alternada, com tensão de 110V ou 220V, predominante na maioria dos aparelhos eletrodomésticos.

Comercialmente, são encontrados inversores de três tipos quanto à forma de onda de saída: onda senoidal pura, onda senoidal modificada e de onda quadrada, que estão representados na figura 13. Os dois últimos são inversores de baixo custo, porém, apresentam tensões que produzem interferências eletromagnéticas, não sendo indicados para equipamento sensíveis. Um motor de indução que utilize um destes tipos de inversor, tem somente cerca de 60% do seu torque normal e aquecimentos indesejáveis (VILLALVA, 2015).

Figura 13 - Tipos de onda de saída dos inversores



Fonte: Villalva, 2015, p.122.

Souza [s.d.] recomenda que a escolha de um bom inversor deve atender as características listadas abaixo:

- ✓ Eficiência *(E_i)* de conversão acima de 80%
- ✓ Alta capacidade de sobrecarga
- ✓ Tolerância para as flutuações de tensão das baterias
- ✓ Baixo autoconsumo em stand-by
- ✓ Proteção contra curto circuito

A escolha da potência nominal do inversor deve seguir a Equação (10) apresentada abaixo:

$$P_i = W_{ac} * F_s \quad (10)$$

Onde:

P_i = potência nominal do inversor

W_{ac} = potência das cargas (CA) ligadas simultaneamente

F_s = fator de segurança (determinado com base na quantidade de cargas com alta potência de partida)

2.7 ORIENTAÇÃO DO PAINEL SOLAR

2.7.1 Inclinação

A inclinação ideal dos painéis fotovoltaicos recebe a interferência da latitude da localidade e, também, do tipo de sistema fotovoltaico. Considerando um sistema isolado, são recomendáveis painéis com maior inclinação, que garantam maior captação nos períodos de menor irradiação solar (SOUZA, 2010).

Sugere-se a Equação (11) para calcular a melhor inclinação do painel solar em relação ao plano horizontal no caso de se tratar de um sistema isolado.

$$\beta = \phi + \frac{\phi}{4} \quad (11)$$

Onde:

β = inclinação do painel em relação ao plano horizontal

ϕ = latitude do local (°)

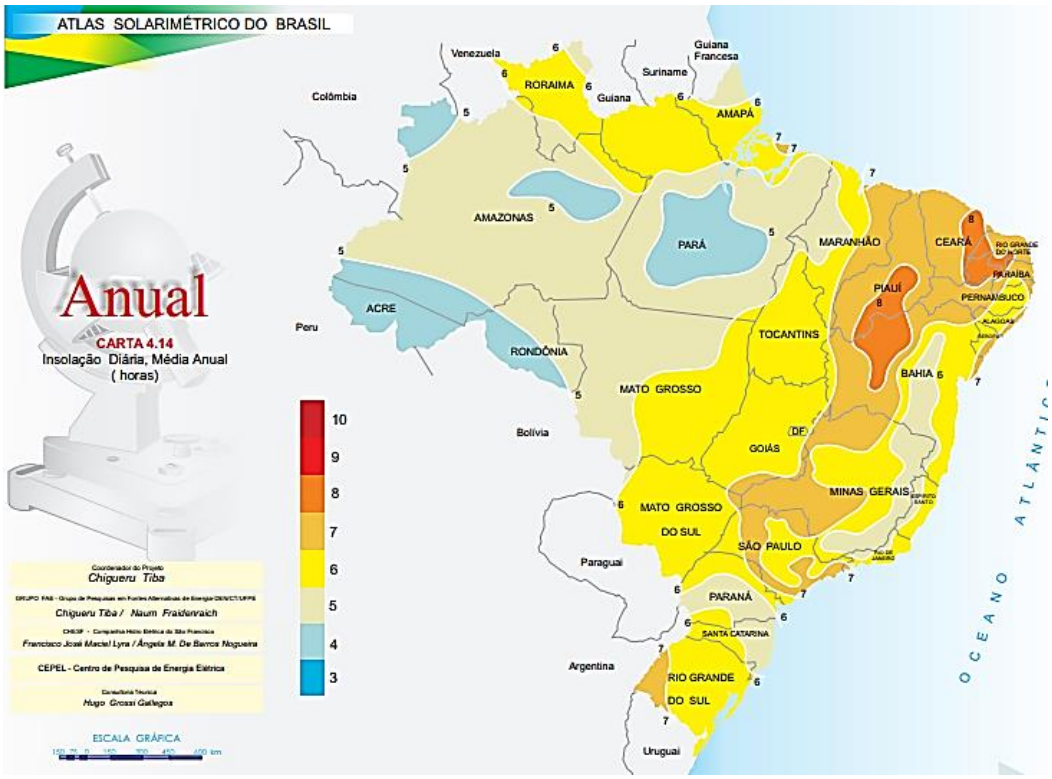
2.7.2 Horas de sol a pico

A intensidade da radiação solar varia não apenas sazonalmente como ao longo do dia, tendo maior intensidade ao meio dia solar. Desde o nascer do sol até o anoitecer, a radiação solar vai do mínimo ao máximo, e retorna ao mínimo. O período de maior radiação ocorre geralmente entre 2 a 3 horas antes e após o meio dia solar (SOUZA, 2010).

Os dados que se referem às horas de insolação ou de maior radiação solar são muito importantes no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, pois neste período o painel fotovoltaico estará gerando sua máxima potência durante o dia.

No Brasil, o Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito (CRESESB, 2000) disponibiliza o Atlas Brasileiro de Energia Solar, um estudo sobre a radiação solar em território brasileiro, apresentando a variação na radiação captada as superfície do território ao longo de um ano. Na figura 14 tem-se a média anual de insolação diária do território brasileiro, onde indica que, para a grande maioria do solo gaúcho, fica em torno de 6 horas diárias.

Figura 14 - Insolação média anual no Brasil



Fonte: CRESESB, 2000, p. 89.

3 METODOLOGIA

Nesta etapa do trabalho serão apresentados os métodos e técnicas utilizados na obtenção dos dados e no dimensionamento dos sistemas de recalque e geração de energia.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o presente trabalho utilizou-se de um estudo de caso, que segundo Gil (2002) “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento [...]”, sendo que o trabalho envolve o estudo aprofundado de conceitos envolvendo a mecânica dos fluidos, máquinas de fluxo e energia solar, e todas as variáveis que poderão influenciar no dimensionamento dos componentes do sistema de recalque e no sistema de geração de energia.

Quanto a natureza, a pesquisa é do tipo exploratório. A pesquisa exploratória proporciona maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito e permitindo construir hipóteses, e envolve levantamento bibliográfico. (GIL, 2002)

Primeiramente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica em livros específicos da área de fluidos, instalações de bombeamento e energia solar, bem como de material disponibilizado na internet, como teses e dissertações voltadas ao assunto. Buscou-se na bibliografia, conhecer os diferentes tipos construtivos de bombas que poderiam atender ao projeto e o princípio de funcionamento das mesmas, assim como as etapas relevantes no dimensionamento, equações e variáveis tidas como essenciais.

Seguiu-se as recomendações de Souza (1991) e Macintyre (1997), referente as principais informações a serem conhecidas para o dimensionamento, como as características do fluido, as características do recalque, altura de recalque, distância, vazão e altura de sucção, bem como a sequência de cálculos. Com base nestas informações seguiu-se para a coleta dos dados.

A aplicação da pesquisa se deu em uma propriedade do interior de Horizontina, município do noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Inicialmente,

definiu-se o volume de 4500 litros de água, necessário para atender a granja, baseado no histórico do seu consumo ao longo dos anos. Então, seguiu-se para a obtenção dos dados geográficos. Com o auxílio de GPS, marca Garmim modelo 76 CXs, obteve-se a distância de 350 metros e desnível de 18 metros entre a fonte e o reservatório apresentados na figura 15. Adicionalmente, para prevenir erros de medição pela precisão do equipamento, foi realizada a medição manual com o auxílio de fita métrica e mangueira de nível, confirmando os dados obtidos.

Figura 15 - Localização da fonte de água e reservatório

Fonte: Adaptado de Google Earth, 2018.

Com os dados coletados e utilizando o software Microsoft Excel, iniciou-se o dimensionamento dos componentes do sistema de recalque, através das equações conhecidas na pesquisa bibliográfica, até se chegar na potência da bomba requerida pelo projeto. Para a escolha da bomba, considerou-se três bombas de potência comercial próxima à encontrada no dimensionamento. A seleção da bomba aconteceu após a avaliação e análise do impacto de cada uma destas nas características exigidas ao sistema de geração de energia fotovoltaica.

Para o dimensionamento dos componentes do sistema fotovoltaico, seguiu-se principalmente os conceitos e equacionamentos sugeridos por Villalva (2015) e Souza [s.d.].

Por fim, selecionou-se os componentes comercialmente disponíveis a serem adquiridos, baseado no dimensionamento previsto. Uma análise dos componentes selecionados conduziu a escolha do conjunto que melhor atende à necessidade, técnica e econômica, do projeto. A estimativa do custo total do sistema foi realizada baseando-se no conjunto selecionado.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE RECALQUE

4.1.1 Vazão de sucção

Sabendo que o volume demandado pela granja é de 4500 litros/dia, calcula-se a vazão necessária considerando que a bomba opere apenas 5 horas diárias, prevendo, assim, que o recalque seja efetuada em período inferior ao de sol disponível, uma vez que insolação média anual disponível para o local é de 6 horas diárias, segundo a figura 14.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{4{,}5}{5}$$

$$Q = \frac{0{,}9\ m^3}{h} = \frac{0{,}000250\ m^3}{s}$$

4.1.2 Diâmetro hidráulico da tubulação de sucção

Seguindo os valores recomendados por Telles (1978) para a velocidade na sucção de bombas, de 1 a 2,5 m/s, adotou-se a velocidade de 1 m/s para uma aproximação inicial. Como para tubulações circulares o diâmetro hidráulico é igual ao próprio diâmetro da tubulação, terá-se:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi v}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0{,}00025}{\pi * 1}}$$

$$D = 0{,}0178\ m = 17{,}8\ mm$$

Comercialmente, o valor que mais se aproxima do cálculo encontra-se na tubulação de bitola 20 mm, com diâmetro interno de 17 mm. Recalculou-se a

velocidade de escoamento do fluido para o diâmetro selecionado e encontrou-se o valor de 1,101 m/s, conforme apresentado no apêndice A.

4.1.3 Fator de atrito

Para o cálculo do fator de atrito da tubulação, inicialmente, determinou-se o número de Reynolds, para uma viscosidade cinemática de 0,000001007 m².s, segundo o quadro 1 para uma temperatura de 20°C.

$$Re = \frac{d * v}{\mu}$$

$$Re = \frac{0{,}017 * 1{,}101}{0{,}000001007}$$

$$Re = 18593{,}95$$

Para a rugosidade média, considerou-se uma rugosidade efetiva de 0,007mm para o material da tubulação, o PVC (policloreto de polivinila).

$$\epsilon_m = \frac{\epsilon}{d}$$

$$\epsilon_m = \frac{0{,}007}{17}$$

$$\epsilon_m = 0{,}0004117mm$$

Utilizando estes valores encontrou-se um fator de atrito de 0,029 para o diagrama de Moody do apêndice D.

4.1.4 Perda de carga na sucção

4.1.4.1 Perda de carga singular

Será utilizado um cotovelo de 90° na saída do reservatório para a bomba, com coeficiente de forma (ks) igual a 0,9, de acordo com a figura 7. Aceleração da gravidade admitida de 9,81 m/s².

$$hs = k_s * \frac{v^2}{2g}$$

$$hs = 0{,}9 * \frac{1{,}101^2}{2 * 9{,}81}$$

$$hs = 0{,}06\, m$$

4.1.4.2 Perda de carga distribuída

Para a tubulação de sucção, utilizara-se um comprimento (h_1) de 2 metros, correspondente a profundidade disponível na maioria dos reservatórios de 5000 litros.

$$hf = f * \frac{L}{Dh} * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf = 0{,}0285 * \frac{2}{0{,}017} * \frac{0{,}918^2}{2 \times 9{,}81}$$

$$hf = 0{,}210\, m$$

Realizando o somatório da altura de sucção e as perdas de carga, encontrou-se uma altura manométrica total de sucção de 2,27 m.

$$H_{sucção} = h_1 + hs + hf$$

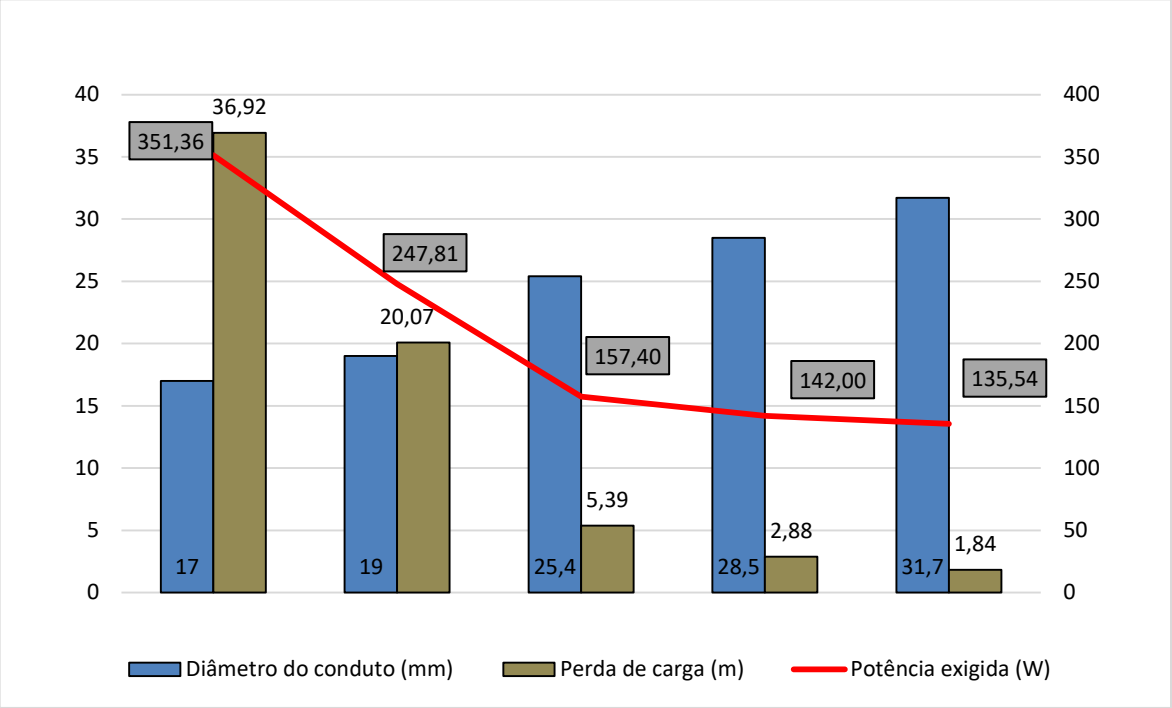
$$H_{sucção} = 2 + 0{,}06 + 0{,}21$$

$$H_{sucção} = 2{,}27\, m$$

4.1.5 Velocidade de escoamento recalque

Utilizando a mesma sequência de cálculos para o recalque, verificou-se por meio de simulações no Excel, com diferentes diâmetros para a tubulação que, quanto maior o diâmetro, menor a perda de carga para os 350 metros de extensão da tubulação de recalque. No gráfico da figura 16, vê-se que a perda de carga na tubulação de recalque é inversamente proporcional ao diâmetro da tubulação. Nota-se, também, que a partir da tubulação de diâmetro 25,4 mm a curva formada é menos acentuada, indicando a menor variação na potência exigida da bomba para estes diâmetros. Optou-se, assim, pelo diâmetro de 25,4 mm. Além disso, considerou-se ainda o menor custo do conduto com o diâmetro selecionado em relação aos demais condutos de maior diâmetro.

Figura 16 - Gráfico do diâmetro versus perda de carga versus potência exigida



Como se espera a menor perda de carga para o sistema, optou-se pela mangueira em PVC de bitola comercial de 1.5/16”, com diâmetro interno de 25,4 mm (1”).

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$v = \frac{4 * 0{,}000250}{\pi * 0{,}0254^2}$$

$$v = 0{,}493 m/s$$

4.1.6 Fator de atrito no recalque

A mudança do diâmetro da tubulação de recalque em relação à sucção, exigiu o recálculo do número de Reynolds, para a mesma viscosidade cinemática de 0,000001007 m².s, segundo o quadro 1, para uma temperatura de 20°C.

$$Re = \frac{d * v}{\mu}$$

$$Re = \frac{0{,}0254 * 0{,}493}{0{,}000001007}$$

$$Re = 12444{,}77$$

Para a rugosidade média, considerou-se uma rugosidade efetiva de 0,007mm para o material da tubulação, o PVC (policloreto de polivinila).

$$\epsilon_m = \frac{\epsilon}{d}$$

$$\epsilon_m = \frac{0{,}007}{25{,}4}$$

$$\epsilon_m = 0{,}000275\ mm$$

Utilizando estes valores encontrou-se um fator de atrito aproximado de 0,031 interpretando o diagrama de Moody do apêndice D.

4.1.7 Perda de carga no recalque

4.1.7.1 Perda de carga singular

Na tubulação de recalque será utilizado além de dois cotovelos de 90° uma válvula de retenção, para que a água contida na tubulação não retorne e exerça força sobre a bomba. Para os cotovelos, coeficiente de forma (ks) igual a 0,9, e 0,5 para a válvula de retenção, de acordo com a figura 7.

$$hs1 = k_s * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$hs1 = 0{,}9 * \frac{0{,}493^2}{2 * 9{,}81}$$

$$hs1 = 0{,}011m * 2 = 0{,}022m$$

$$hs2 = k_s * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$hs2 = 0{,}5\frac{0{,}493^2}{2 * 9{,}81}$$

$$hs2 = 0{,}0062m$$

4.1.7.2 Perda de carga distribuída

Na tubulação de recalque serão necessários 350 metros até o reservatório final.

$$hf = f * \frac{L}{Dh} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$hf = 0{,}031 * \frac{350}{0{,}0254} * \frac{0{,}493^2}{2 * 9{,}81}$$

$$hf = 5{,}38m$$

Realizando o somatório da altura do recalque (h_2) de 18 m e as perdas de carga, encontrou-se uma altura manométrica total de recalque de 23,41 m.

$$H_{recalque} = h_2 + hs1 + hs2 + hf$$

$$H_{recalque} = 18 + 0{,}022 + 0{,}0062 + 5{,}38$$

$$H_{recalque} = 23{,}41\ m$$

4.1.8 Altura manométrica total

Somando os valores encontrados para as perdas de carga singular e distribuída para as tubulações de sucção e recalque encontrou-se uma altura manométrica total de 25,68 m a ser vencida pela bomba.

$$H_{total} = h_{sucção} + h_{recalque}$$

$$H_{total} = 23{,}41 + 2{,}27$$

$$H_{total} = 25{,}68m$$

4.1.9 Potência motriz

A potência motriz necessária foi calculada considerando um rendimento de 60%, recomendado para bombas de baixa potência. O peso específico do fluido (água) foi considerado igual a 1000 Kgf/m³.

$$Pb = \frac{\gamma * Q * H}{75 * \eta}$$

$$Pb = \frac{1000 * 0{,}000250 * 25{,}68}{75 * 0{,}6}$$

$$Pb = 0{,}142CV$$

Considerando o incremento na potência, sugerido por Macintyre (1997), de 50% para potência até 2 CV, teremos uma potência motriz calculada de 0,214 CV, que equivale a aproximadamente 158 W.

4.1.9.1 Velocidade de rotação específica

Para auxiliar na escolha do tipo de bomba a ser utilizada no sistema calculou-se a velocidade de rotação específica, considerando um motor na potência selecionada com 3500 RPM, que equivalem a aproximadamente 58 RPS.

$$nqA = 10^3 * n * \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{Y^{\frac{3}{4}}}$$

$$nqA = 10^3 * 58 * \frac{(0{,}000250)^{\frac{1}{2}}}{(251{,}92)^{\frac{3}{4}}}$$

$$nqA = 14{,}5$$

Como o campo de aplicação dos diferentes tipos de bombas é muito amplo, muitas vezes sujeito a sobreposição, onde mais de um tipo construtivo de bomba pode atender a demanda, também analisou-se o valor encontrado para a velocidade de rotação específica. O valor encontrado (14,5) sugere uma bomba de deslocamento positivo e também muito se aproxima da faixa de aplicação das bombas centrífugas. Optou-se por uma bomba centrífuga levando em consideração a simplicidade construtiva, que além do custo-benefício, facilita a manutenção, e o fato da utilização das bombas centrífugas ser estendida à grande maioria das instalações comuns de recalque de água limpa, o que facilita a sua busca.

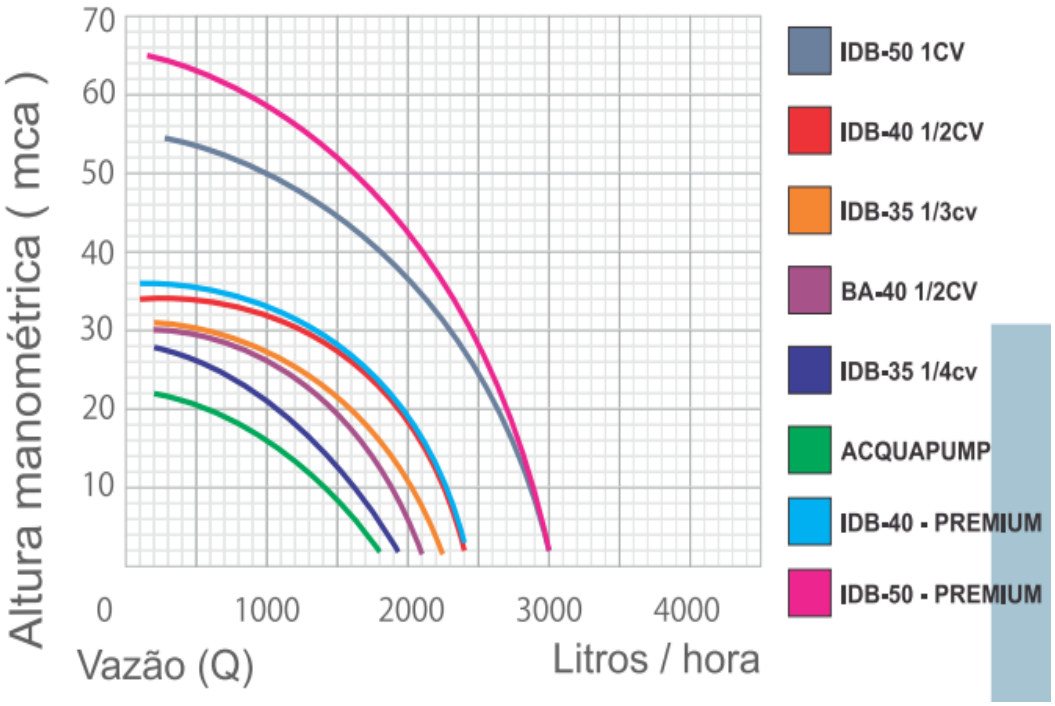
Definido o tipo de bomba a ser empregado, seguiu-se para a busca de uma que atenda a potência calculada. Sabendo que dificilmente se encontrará uma bomba com potência idêntica a encontrada nos cálculos, partiu-se para a avaliação das bombas com faixa de potência mais próxima, optando-se em selecioná-la após analisar a influência de sua potência no dimensionamento do sistema fotovoltaico.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTÁICO

4.2.1 Demanda diária

Selecionou-se três bombas para a análise. As bombas selecionadas para o estudo foram a IDB-35 ¼ CV, IDB-35 ⅓ CV e a IDB-35 ½ CV, do fabricante Ferrari ®. A figura 17, fornecida pelo fabricante, demonstra a curva de funcionamento das bombas selecionadas. Para a altura manométrica calculada, incluindo as perdas de carga, vê-se na figura que se tem uma vazão aproximada de 500 L/h para a bomba de ¼ CV, sendo que esta deverá funcionar por 9 horas para atender o volume de 4500 L desejado. Para a bomba de ⅓ CV temos 1100 L/h, devendo assim, funcionar por 4,1 horas diariamente. Já a bomba de ½ CV, deve fornecer 1600 L/h e ter que assim, funcionar por 2,9 horas.

Figura 17 - Curva de funcionamento da bomba selecionada



Fonte: Ferrari, 2016.

A demanda diária de energia nada mais é do que o produto da potência da bomba selecionada pela quantidade de horas que esta permanecerá em funcionamento. Sendo assim, uma bomba de 180 W (1/4 CV) de potência, operando por 9 horas, demandará 1620 W/dia, que equivale a demanda inicial (Di). Para a bomba de 245 W (1/3 CV) de potência e que opera por 4,1 horas, a demanda inicial

será de 1004,5 W/dia. Já uma bomba de 370 W (1/2 CV) de potência que funcionará por 2,9 horas, deverá ter uma demanda inicial de 1073 W/dia.

A partir da seleção do inversor, deverá ser considerado um novo valor para a demanda diária de energia a ser gerada pelo sistema fotovoltaico (Ed), levando em conta a eficiência do inversor, a ser fornecida pelo fabricante.

Tem-se então, para bomba de 180 watts:

$$Ed = \frac{Di}{Ei}$$

$$Ed = \frac{1620}{0{,}92}$$

$$Ed = 1760{,}87\ W/dia$$

Para bomba de 245 watts:

$$Ed = \frac{Di}{Ei}$$

$$Ed = \frac{1004{,}5}{0{,}92}$$

$$Ed = 1091{,}85\ W/dia$$

Para bomba de 370 watts:

$$Ed = \frac{Di}{Ei}$$

$$Ed = \frac{1073}{0{,}92}$$

$$Ed = 1166{,}30\ W/dia$$

Aplicando o *rendimento global (R)* ao cálculo, considerando seu valor médio padrão de 0,89, se terá a nova demanda de energia, denominada de *Energia Real (Er)*.

Para bomba de 180 watts:

$$Er = \frac{Ed}{R}$$

$$Er = \frac{1760{,}87}{0{,}89}$$

$$Er = 1978{,}50\ W/dia$$

Para bomba de 245 watts:

$$Er = \frac{Ed}{R}$$

$$Er = \frac{1091{,}85}{0{,}89}$$

$$Er = 1226{,}80\ W/dia$$

Para bomba de 370 watts:

$$Er = \frac{Ed}{R}$$

$$Er = \frac{1166{,}30}{0{,}89}$$

$$Er = 1310{,}45\ W/dia$$

A eficiência do controlador de carga também deve ser considerada. Sabe-se que a eficiência do controlador que opera sem a tecnologia MPPT é de 90%. Busca-se saber a influência da utilização deste tipo de controlador no sistema que está se dimensionando, assim, recalculou-se a demanda inicial e obteve-se a demanda real de energia.

Para bomba de 180 watts:

$$Dr = \frac{Er}{Ec}$$

$$Dr = \frac{1978{,}50}{0{,}9}$$

$$Dr = 2198{,}33\ W/dia$$

Para bomba de 245 watts:

$$Dr = \frac{Er}{Ec}$$

$$Dr = \frac{1226{,}80}{0{,}9}$$

$$Dr = 1363{,}11\ W/dia$$

Para bomba de 370 watts:

$$Dr = \frac{Er}{Ec}$$

$$Dr = \frac{1310{,}45}{0{,}9}$$

$$Dr = 1456{,}05\ W/dia$$

Assim, a demanda real *(Dr)* de energia para o sistema, utilizando controlador PWM, será de 2198,33 W/dia para a bomba de 180 W, 363,11 W/dia para uma bomba de 245 W de potência, e de 1456,05 W/dia para 370 W. Considerando que não haja perdas pelo controlador com MPPT, a demanda real de energia será igual a energia real necessária, que corresponde a 1978,50 Wh/dia, 1226,80 W/dia e 1310,45 W/dia para as bombas de 180 W, 245 W e 370 W, respectivamente.

4.2.2 Potência do inversor

Para conhecer a potência do inversor precisa-se verificar a potência instantânea que o inversor deverá controlar, somando a potência de todos os aparelhos que serão ligados simultaneamente. Como neste caso haverá apenas a carga da bomba no sistema, a potência necessária ao inversor será igual à da bomba.

Segundo Souza [s.d.], deve-se prever uma folga ao dimensionar o inversor, numa faixa de 30% a 50%. Definiu-se 30% uma folga aceitável, por haver apenas uma carga no sistema, que neste caso será a bomba.

Para bomba de 180 watts:

$$Pinv = \frac{P_{bomba}}{0{,}7}$$

$$Pinv = \frac{180}{0{,}7}$$

$$Pinv = 257{,}14\ W$$

Para bomba de 245 watts:

$$Pinv = \frac{P_{bomba}}{0{,}7}$$

$$Pinv = \frac{245}{0{,}7}$$

$$Pinv = 350\ W$$

Para bomba de 370 watts:

$$Pinv = \frac{P_{bomba}}{0{,}7}$$

$$Pinv = \frac{370}{0{,}7}$$

$$Pinv = 528{,}57\ W$$

Considerando a utilização de um inversor de onda senoidal pura, que permitirá o correto e eficiente funcionamento do sistema, selecionou-se dois inversores que atendem a aplicação das duas bombas com o menor custo encontrado e de mesmo fabricante, priorizando também a sua eficiência. Os inversores de onda senoidal pura são encontrados com potência relativamente maior aos demais, fato evidenciado na pesquisa, não sendo possível a seleção de um equipamento com potência exatamente igual à calculada. Os inversores selecionados estão destacados no quadro 5, são do fabricante Panda, de 500 W e 1000 W, ambos com eficiência de 92 %.

Quadro 5 - Inversores encontrados comercialmente

Equipamento	**Potência (W)**	**Valor (R$)**	**Eficiência (%)**
Inversor Victron Aldo Solar	400	R$ 639,00	91%

Inversor Panda 500 W	**500**	**R$ 638,00**	**92%**
Inversor Panda 1000 W	**1000**	**R$ 1.045,00**	**92%**
Inversor 12v Um Mais 1000 W	1000	R$ 799,00	85%

4.2.3 Módulo fotovoltaico

Sabe-se que a demanda real *(Dr)* de energia a ser produzida, anteriormente calculada, considerou as perdas produzidas pelo inversor e controlador. Para as perdas adicionais que devem ser consideradas e necessárias para se conhecer a potência total necessária ao sistema de geração, considerou-se o estudo que apresentou o menor desempenho dentre os citados por Araújo, Rank e Bueno (2016), no intuito de fornecer maior segurança ao sistema que se está dimensionando. Este desempenho corresponde a 60% da geração de energia fotovoltaica, havendo assim 40% de perda na produção energia. Desconsiderando a perda originada pelo inversor, já presente no cálculo da demanda real de energia, haverá um fator de perda de 35%, eliminando os 5% de perda máxima considerada pelos autores em seu trabalho para o inversor.

Considerando que as perdas adicionais correspondam a 35% e que deve-se considerar o período médio de sol disponível, em horas, para o cálculo da potência do módulo fotovoltaico. Sabendo que a localização possui 6 horas de insolação média diariamente, calculou-se a potência do (s) módulo (s) para cada situação.

Para a bomba de 180 W utilizando controlador PWM:

$$P_{painel} = \frac{Dr/_{0,65}}{h}$$

$$P_{painel} = \frac{2198,33/_{0,65}}{6}$$

$$P_{painel} = 563,67\ W \cong 564\ W$$

Para a bomba de 180 W utilizando controlador com MPPT:

$$P_{painel} = \frac{Er/_{0,65}}{h}$$

$$P_{painel} = \frac{1978{,}50/_{0{,}65}}{6}$$

$$P_{painel} = 507{,}30\ W \cong 508\ W$$

Para a bomba de 245 W utilizando controlador PWM:

$$P_{painel} = \frac{Dr/_{0{,}65}}{h}$$

$$P_{painel} = \frac{1363{,}11/_{0{,}65}}{6}$$

$$P_{painel} = 349{,}51\ W \cong 350\ W$$

Para a bomba de 245 W utilizando controlador com MPPT:

$$P_{painel} = \frac{Er/_{0{,}65}}{h}$$

$$P_{painel} = \frac{1226{,}80/_{0{,}65}}{6}$$

$$P_{painel} = 314{,}56\ W \cong 315\ W$$

Para a bomba de 370 W utilizando controlador PWM:

$$P_{painel} = \frac{Dr/_{0{,}65}}{h}$$

$$P_{painel} = \frac{1456{,}05/_{0{,}65}}{6}$$

$$P_{painel} = 373{,}35\ W \cong 374\ W$$

Para a bomba de 370 W utilizando controlador com MPPT:

$$P_{painel} = \frac{Er/_{0{,}65}}{h}$$

$$P_{painel} = \frac{{}^{1310,45}/_{0,65}}{6}$$

$$P_{painel} = 336{,}01\ W \cong 337\ W$$

4.2.4 Banco de baterias

Sabendo a demanda inicial de energia *(Di)* necessária para o funcionamento das três bombas analisadas e, esperando uma autonomia de dois dias para o sistema, pode-se calcular a capacidade útil do banco de baterias *(Cb)* seguindo o dimensionamento sugerido por Villalva (2015).

Como a capacidade real do banco de baterias deve ser maior, em função da profundidade de descarga, de modo que estas não utilizem toda a sua carga deve-se prever o uso de apenas parte de sua capacidade, que corresponde a profundidade de descarga da bateria.

Prevê-se a operação da bomba somente no período de sol disponível (6 horas), em que o painel estará recebendo radiação solar e, desta forma, manterá o banco de baterias em estado de plena carga, operando apenas em regime de flutuação da tensão. Para tanto, pretende-se usar um temporizador 12 V da marca SinoTimer, que possui bateria interna recarregável e corrente de consumo durante seu funcionamento desprezível, segundo o fabricante.

Desta forma, havendo um ciclo completo de carga e descarga apenas nos dias com pouca ou nenhuma geração de energia, deseja-se utilizar uma profundidade de descarga *(P_d)* de 50% da capacidade da bateria, ou seja, após dois dias de funcionamento utilizando apenas a energia das baterias, estas ainda terão 50 % de sua capacidade. Isto diminuirá a capacidade de armazenamento necessário ao banco de baterias e consequentemente seu custo de aquisição.

Para bomba de 180 watts:

$$Cr = \frac{\frac{Di * N_1}{V_{banco}}}{P_d}$$

$$Cr = \frac{\frac{1620 * 2}{12}}{0{,}5}$$

$$Cr = 540\ Ah$$

Para bomba de 245 watts:

$$Cr = \frac{\frac{Di * N_1}{V_{banco}}}{P_d}$$

$$Cr = \frac{\frac{1004{,}5 * 2}{12}}{0{,}5}$$

$$Cr = 334{,}83 \cong 335\ Ah$$

Para bomba de 370 watts:

$$Cr = \frac{\frac{Di * N_1}{V_{banco}}}{P_d}$$

$$Cr = \frac{\frac{1073 * 2}{12}}{0{,}5}$$

$$Cr = 357{,}66 \cong 358\ Ah$$

Portanto, o banco de baterias deve ter aproximadamente 540 Ah, 335 Ah e 358 Ah de capacidade para uma bomba de 180 W, 245 W e 370 W, respectivamente, para fornecer uma autonomia de dois dias ao sistema. Para atender a capacidade calculada, pode-se tanto utilizar uma única bateria como associar quantas forem necessárias para atingir a capacidade necessária.

No quadro 6, abaixo, são apresentadas algumas baterias pesquisadas e disponíveis comercialmente, entre estacionárias e automotivas.

Quadro 6 - Baterias disponíveis comercialmente

Equipamento	**Capacidade (Ah)**	**Valor (R$)**
Bateria Bosch Estacionária 150 Ah	150	R$ 768,00
Bateria Bosch Estacionária 100 Ah	100	R$ 616,00
Bateria Bosch Automotiva 150 Ah	150	R$ 712,00

Bateria Stroke Power Estacionária 80 Ah	80	R$	424,00
Bateria Stroke Power Automotiva 80 Ah	80	R$	335,00
Bateria Max Power estacionária 400 Ah	400	R$	963,20
Bateria Fredoom Estacionária 70 Ah	70	R$	439,00
Bateria Mil Léguas Automotiva 90 Ah	90	R$	450,00
Bateria Mil Léguas Automotiva 100 Ah	100	R$	470,00
Bateria Mil Léguas Automotiva 150 Ah	150	R$	600,00
Bateria Mil Léguas Automotiva 200 Ah	200	R$	850,00

4.2.5 Controlador de carga

Para a seleção do controlador de carga deve-se prever que este atenda a corrente de curto circuito do módulo com um fator de segurança de 25 %. Como exemplo, o cálculo abaixo, realizado para o painel solar 95 W Yingli Aldo Solar de corrente de curto-circuito de 6,37 A, que requer a associação de 4 módulos para atingir a potência necessária ao sistema fotovoltaico, repetiu-se para os demais módulos considerados e os resultados estão apresentados no quadro 7.

$$Controlador = I_{cc} * N_2 * 1{,}25$$

$$Controlador = 6{,}37 * 4 * 1{,}25$$

$$Controlador = 31{,}82\ A$$

O quadro 7 apresenta, ainda, os diferentes painéis fotovoltaicos disponíveis comercialmente e utilizados para a análise de custos do sistema que se deseja instalar. Além do fabricante, o quadro traz também a informação do custo unitário e corrente de curto-circuito do painel, utilizada para o dimensionamento do controlador de carga. A capacidade do controlador de carga para cada painel, de acordo com a quantidade necessária para atingir a potência de projeto, encontra-se na última coluna.

Quadro 7 - Painéis fotovoltaicos considerados para a análise

Equipamento	**Potência (W)**	**Valor (R$)**	**Corrente Curto-Circuito (A)**	**Quant.**	**Controlador (A)**
Painel solar 95 W Yingli Aldo Solar	95	405	6,37	4	25,48
Painel solar 100 W YDTECH	100	445	5,49	4	21,96
Painel solar 140 W 3TSolar	140	414	8,44	3	25,32
Painel 150 W Risen Solar	150	446	8,81	3	26,43

Painel solar 200 W Direct Energy	200	765	5,62	2	11,24
Painel solar 280 W Canadian Solar	280	660	9,52	2	19,04
Painel solar 330 W Canadian Solar	330	754	9,45	2	18,9

No quadro 8 estão listados os controladores de carga disponíveis comercialmente e que atendem a aplicação do projeto com seus respectivos valores.

Quadro 8 - Controladores de carga considerados na análise

Equipamento	**Capacidade (A)**	**Valor (R$)**
Controlador MPPT Epever 20 A 12/24 V	20	R$ 549,00
Controlador MPPT Epever 30 A 12/24 V	30	R$ 643,00
Controlador MPPT Epever Tracer 40 A 12/24V	40	R$ 731,00
Controlador PWM Epever 20 A 12/24 V	20	R$ 139,00
Controlador PWM SUN21 30 A 12V/24V	30	R$ 225,00
Controlador PWM SUN21 40 A 12/24V	40	R$ 422,00

4.2.6 Inclinação do painel

Como o sistema é isolado *(offgrid)*, segue-se a equação seguinte indicada por Souza (2010), obtendo a melhor inclinação do painel solar em relação ao plano horizontal.

$$\beta = \phi + \frac{\phi}{4}$$

$$\beta = 27{,}61 + \frac{27{,}61}{4}$$

$$\beta = 34{,}51° \cong 35°$$

Portanto, como a localização situa-se ao sul da linha do Equador, o painel deve ser orientado para o norte geográfico, com inclinação de aproximadamente 35 graus em relação a horizontal.

4.3 TOMADA DE DECISÃO

Como se propôs, realizou-se o dimensionamento do sistema de geração de energia fotovoltaica para as bombas selecionadas com potência próxima a

encontrada nos cálculos, permitindo optar pelo equipamento que atenda ao projeto com a menor potência instalada e, consequentemente, com o menor custo de instalação.

O quadro 9 reúne o resultado obtido para as três bombas analisadas. A linha “Tempo de funcionamento (h)” traz o tempo em horas que cada bomba necessita funcionar para atender a demanda de 4500 litros no dia, segundo a curva de funcionamento visto na figura 15. Calculou-se, ainda, qual a potência necessária ao inversor para que atenda cada bomba. Percebe-se que a utilização da bomba com potência de ¼ CV requer a maior potência para o painel fotovoltaico, tanto com a utilização de controlador MPPT (508 W) como com controlador PWM (564 W), resultado do maior tempo de funcionamento desta, comparada as demais analisadas, bem como um banco de baterias com maior capacidade de armazenamento (540 Ah).

Quadro 9 - Potência do painel fotovoltaico para diferentes bombas

Potência do painel fotovoltaico em função da potência da bomba selecionada			
	Bomba 1/4 CV	Bomba 1/3 CV	Bomba 1/2 CV
Tempo de funcionamento (h)	9	4,1	2,9
Potência da bomba (W)	183	245	370
Potência do inversor (W)	262	350	528
Capacidade do banco de baterias (Ah)	540	335	358
Potência do painel com PWM (W)	564	350	374
Potência do painel com MPPT (W)	508	315	337

Considerando que a bomba de 180 W requer a maior potência fotovoltaica instalada, bem como uma capacidade de armazenamento do banco de baterias relativamente maior que as demais, desconsiderou-se a utilização desta bomba.

Todos os componentes que farão parte do sistema de geração de energia considerado, já mencionados e utilizados na análise de custos deste trabalho, foram buscados em empresas especializadas em energia solar, contando com a confiabilidade e maior detalhamento das informações técnicas de cada componente.

A primeira análise ocorreu supondo a utilização da bomba de potência 245W. O apêndice E apresenta o valor final do sistema, considerando a utilização da bomba com controlador de carga do tipo PWM, para os diferentes módulos

encontrados comercialmente. A utilização do controlador citado requer uma potência para o sistema fotovoltaico de 350 W, igualmente para a potência do inversor. Estimou-se para cada painel, a quantidade necessária bem como a capacidade do controlador. Os valores unitários e total são dados em reais. O valor unitário e total é dado em reais e o excedente de potência em watts (W).

Na segunda análise, considerou-se utilizar um controlador do tipo MPPT junto à bomba de 245 W. O resultado desta análise vista é apresentada no apêndice F. Percebe-se a influência da utilização de um controlador MPPT, que requer menor potência do sistema fotovoltaico, sendo esta de 315 W.

Outra situação analisada foi a utilização da bomba de potência 370 W, e seu impacto no custo total dos equipamentos, uma vez que esta requer maior potência do sistema fotovoltaico e maior capacidade de armazenamento do banco de baterias.

Utilizando os mesmos painéis, o apêndice G apresenta os valores para um sistema que utilize uma bomba de 370 W e controlador PWM. Ressalta-se que a utilização desta bomba requer um inversor de maior potência, calculada em 528 W. A utilização do controlador PWM exige 374 W de potência do sistema fotovoltaico.

A última análise realizada considerou a utilização da bomba de 370 W e um controlador MPPT, que reduz a potência exigida do sistema fotovoltaico para 337 W. Esta análise é demonstrada no apêndice H.

De posse da análise para as duas bombas e para ambas as aplicações, tanto com controlador PWM como com controlador MPPT, extraiu-se os sistemas com menor custo total em equipamentos para cada situação. Os sistemas que obtiveram os menores custos estão apresentados no quadro 10.

Quadro 100 - Conjuntos com menor custo estimado

Equipamento	**Potência projetada (W)**	**Valor unitário (R$)**	**Quant.**	**Valor Total (R$)**	**Excedente de potência (W)**
Ferrari IDB35 1/3 CV		190	1	190	210
Painel 280 W Canadian Solar	350	660	2	1320	
Inversor Panda 500 W	350	638	1	638	
Controlador PWM Epever 20 A	19,04	139	1	139	

12/24 V					
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	335	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.250,20**	
Ferrari IDB35 1/3 CV		190	1	190	
Painel Canadian Solar 330 W	315	754	1	754	
Inversor Panda 500 W	350	638	1	638	
Controlador MPPT Epever 20 A 12/24 V	18,9	549	1	549	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	335	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.094,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	186
Painel 280 W Canadian Solar	350	660	2	1320	
Inversor Panda 1000 W	350	1045	1	1045	
Controlador PWM Epever 20 A 12/24 V	19,04	139	1	139	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.767,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	223
Painel 280 W Canadian Solar	337	660	2	1320	
Inversor Panda 1000 W	350	1045	1	1045	
Controlador MPPT Epever 20 A 12/24 V	19,04	549	1	549	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.177,20**	

Uma análise realizada em cima dos conjuntos selecionados e levando em consideração alguns dados da propriedade e da granja de terminação resultaram nas considerações listadas abaixo.

- ✓ Todos os conjuntos selecionados atendem à demanda da granja;
- ✓ O custo de instalação de um sistema de bombeamento é o fator que é mais relevante para o orçamento da propriedade;
- ✓ Não há nenhuma expectativa de aumento na terminação de suínos na propriedade que justifique o potencial aproveitamento do excedente de potência de alguns conjuntos;

- ✓ O aproveitamento do excedente de potência necessitaria maior capacidade de armazenamento de água no reservatório da fonte e na granja, para que a bomba não opere fora do período de sol disponível, além de maior capacidade de armazenamento do banco de baterias;
- ✓ O consumo máximo de água ocorre apenas na fase final da terminação;
- ✓ O volume de 4500 litros prevê uma reserva de 600 litros, uma vez que o consumo máximo atinge aproximadamente 3900 litros/dia.

Avaliando estas considerações e seguindo o critério de menor custo, definiu-se a utilização do conjunto que totalizou R$ 3.094,20, composto de uma bomba Ferrari IDB-35 de 245 W, controlador MPPT da Epever de 20 A 12/24 V, conjunto constituído ainda de módulo fotovoltaico policristalino Canadian Solar de 330 W, inversor Panda de 500 W e bateria estacionária Max Power de 400 Ah. Adicionalmente, necessita-se um poste de concreto de 9 metros de altura para sustentação do painel no valor de R$ 280,00 e um timer temporizador 12 V da marca SinoTimer, com valor de R$ 83,80, que permitirá a operação da bomba durante o período de sol disponível, além de automatizar os acionamentos. O temporizador possui bateria interna recarregável e corrente de consumo desprezível, segundo o fabricante. A utilização do conjunto selecionado deve ainda, propiciar maior facilidade para a instalação, uma vez que é composto por um único painel, dispensando a ligação em paralelo com outras placas e simplificando a sua fixação.

A seleção da bateria igualmente seguiu o critério de menor custo. Inicialmente, pensou-se em utilizar baterias automotivas, devido ao menor impacto no custo total da instalação e pelo princípio de funcionamento esperado com a utilização do temporizador ser muito semelhante à aplicação em um automóvel. Porém, a busca encontrou uma bateria de capacidade suficiente para atender o projeto, a bateria estacionária Max Power de 400 Ah. Apesar de ser o único fabricante a trabalhar com esta capacidade de carga dentre os pesquisados, seu custo, indicação e período de garantia fornecido atendem à solicitação.

O quadro 11 abaixo traz a estimativa de custo final dos principais componentes para a instalação do sistema de recalque utilizando energia fotovoltaica.

Quadro 111 - Estimativa de custo total de instalação

Equipamento	**Quantidade**	**Valor Unitário (R$)**	**Valor (R$)**
Módulo Canadian Solar 330 W	1	754,00	754,00
Inversor Panda 500 W	1	638,00	638,00
Controlador MPPT Epever 20 A 12/24 V	1	549,00	549,00
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	1	963,20	963,20
Timer temporizador Sinotimer 12 V	1	83,80	83,80
Poste de concreto Certhil 9 m	1	280,00	280,00
Fixação metálica para painel	1	120,00	120,00
Mangueira Mangueplast 25,4 mm x 2,5 mm	350	2,99	1046,50
Cotovelo 90°	3	4,50	13,50
Válvula de retenção 25,4 mm	1	29,25	29,25
Total			**R$ 4.477,25**

CONCLUSÃO

Por meio das medições realizadas no local da instalação do sistema e dos cálculos realizados seguindo a bibliografia pesquisada, pode-se verificar que a utilização de uma tubulação de sucção de 17 mm e de recalque de 25,4 mm teve o melhor resultado na perda de carga, totalizando uma altura de perda de carga de 5,68 metros, que somado aos 20 metros de desnível entre o reservatório da fonte e o reservatório da granja, totalizam 25,68 metros de altura manométrica.

Para elevar os 4500 litros diários requeridos para o abastecimento da granja a estes 25,68 metros, obteve-se uma potência motriz calculada, considerando um rendimento da bomba de 60 %, e um acréscimo de 50 % na potência, recomendada para potências inferiores a 2 CV, de aproximadamente 0,214 CV ou 158 W.

A análise realizada para definição de uma bomba de potência próxima à calculada culminou na seleção de uma bomba de 245 W de potência, devido a menor exigência de potência do sistema fotovoltaico e de capacidade de armazenamento do banco de baterias, impactando em um sistema com o menor custo de instalação.

A bomba selecionada deve fornecer aproximadamente 1100 litros/hora, segundo sua curva de funcionamento considerando a altura manométrica calculada, devendo assim, operar por 4,1 horas para atender o volume desejado de 4500 litros. Esse tempo diário de funcionamento exigirá uma capacidade de armazenamento de carga de 335 Ah do banco de baterias, a fim de permitir uma autonomia de 2 dias para as situações de pouca ou nenhuma irradiação solar, capacidade esta, suprida com a seleção de uma bateria estacionária de 400 Ah.

A utilização da bomba selecionada exigiu ainda, o uso de um inversor de tensão com potência calculada de 350 W, considerando uma folga de 30 % sobre a carga instalada no sistema, além de um controlador de carga MPPT de 20 A, dimensionado com um fator de segurança de 25 % além da corrente de curto circuito do painel selecionado.

A potência exigida para o módulo fotovoltaico, com o uso de um controlador do tipo MPPT, foi de 315 W. A seleção contemplou um módulo na potência de 330 W, suficiente para atender ao projeto sem a necessidade de ligação em paralelo de uma quantidade maior de módulos de menor potência. A inclinação do módulo ficou estabelecida, conforme calculado para um sistema *off-grid*, com uma inclinação em relação a horizontal de 35° e orientado para o norte geográfico.

Tendo em vista que os sistemas de recalque e de geração de energia fotovoltaica que foram selecionados, a partir dos dimensionamentos, atenderão totalmente a demanda de abastecimento da granja de terminação de suínos e, com um custo de instalação relativamente baixo, se comparado com o custo de instalação de uma rede de energia elétrica específica, que foi orçada pela concessionária de energia local em R$ 12.000,00 (Apêndice E). Ele não considera gastos com a necessidade de detonação, em caso de haver rochas no local de instalação dos postes e gastos com o sistema de recalque, bomba, mangueiras e demais componentes, que não estão contemplados neste orçamento. Conclui-se que o objetivo deste trabalho foi atingido com êxito.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Boletim de Informações Gerenciais 1º Trimestre de 2017**. Brasília: ANEEL, 2017. (Boletim Gerencial) Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais+1%C2%BA+trimestre+de+2017/798691d2-990b-3b36-1833-c3e8c9861c21> Acesso em: 25 out.2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Relatório de Acompanhamento da Implantação de Empreendimentos de Geração**. Brasília: ANEEL, 2017. (Relatório, Nº 11). Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/documents/655816/14483518/Relat%C3%B3rio+de+Acompanhamento+da+Implanta%C3%A7%C3%A3o+de+Empreendimentos+de+Gera%C3%A7%C3%A3o+N11+Mar%C3%A7o+2018/c74e72f2-cc88-3ea6-5608-d596a4a33154?version=1.0> Acesso em: 25 out.2018.

ARAÚJO, Ana Júlia Nunes de; RANK, Narah Iuata; BUENO, Talita Bezerra de Araujo**. Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba**. Monografia. (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, 2016.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice, 2008.

Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito (CRESESB). **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Recife: CRESESB, 2000. Disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_solarimetrico_do_brasil_2000.pdf> Acesso em:02 maio.2018.

Empresa Brasileira de Agropecuária (EMPRAPA). **A Embrapa em números**. Brasília: EMBRAPA, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/1600893/Embrapa+em+N%C3%BAmeros/7624614b-ff8c-40c0-a87f-c9f00cd0a832> Acesso em: 28 out. 2018.

FARRET, Felix A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia**. 2. Ed. Rio Grande do Sul: Editora UFSM, 2010.

FERRARI. **Manual técnico Ferrari.** São Paulo, 2016. Disponível em: <http://webdirectory.ferrarinet.com.br:8081/marketing/manual/AAB1010003.pdf> Acesso em: 19 ago.2018

FOX, W. R; PRITCHARD, P. J; MCDONALD, A. T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos.** 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Ltda, 2011.
GILL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

HENN, Érico Antônio Lopes. **Máquinas de Fluido**. Santa Maria: UFSM, 2001.
Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Cadastro de Imóveis Rurais.** Brasília: INCRA, 2016. Disponível em: < http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/estrutura-fundiaria/estat-sticas-de-im-veis-rurais-/cadastro_imoveis_rurais_rs_geral_pub_e_priv.pdf> Acesso em: 25 out. 2018.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2.Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A, 1997.

SOUZA, Pedro H. A. I. **Apresentação dos cálculos para seleção de bomba para sistema de reaproveitamento de água de poços artesianos.** Monografia. (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, 2014.

SOUZA, Ronilson di. **Os sistemas de geração de energia fotovoltaica.** Blue Sol Energia Solar. São Paulo. Disponível em: < http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf >. Acesso em: 15 abr. 2018.

SOUZA, Zulcy de. **Dimensionamento de máquinas de fluxo**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1991.

TELLES,Pedro C. Silva; BARROS,Darcy G. Paula**. Tabelas e gráficos para projetos de tubulações.** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 1978.

VILLALVA, Marcelo Gradella**. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** 2. ed. São Paulo. Editora Saraiva, 2015.

APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DA SUCÇÃO

PERDA DE CARGA NA TUBULAÇÃO DE SUCÇÃO

VOLUME NECESSÁRIO/dia

4500	L
4,5	m³

VAZÃO

		Velocidade recomendada (1 a 2,5) m/s	
900	L/h	1	m/s
0,000250	m³/s		
0,9	m³/h		

VELOCIDADE DE ESCOAMENTO

$Q = v \times A$

v= velocidade médio do fluido (m/s)
A= área da seção (m²)

Área conduto		Diâmetro conduto		Diâmetro comercial	
0,00025	m²	17,8	mm	17	mm

DIÂMETRO HIDRÁULICO

Dh = D	17	mm	**Vel. Recalculado**		
	0,017	m	1,101	m/s	

HORAS DE Funcionamento (sol)

5	h
300	min

Numero de Reynolds

$Re = \frac{d \times v}{\mu}$

d= diâmetro interno do conduto
v= velocidade médio do fluido
μ=viscosidade cinemática do fluido

Re		Viscosidade	
18593,95328		0,000001007	

Rugosidade do encanamento

$\frac{\epsilon}{d}$

ϵ= rugosidade efetiva
d= diâmetro interno conduto

Rugosidade PVC (mm)	
0,007	
0,000411765	mm

PERDA DE CARGA DISTRIBUIDA

hf = perda de carga distribuída (m)
f = fator de atrito
L = comprimento do conduto (m)
v = velocidade do fluido (m/s)
Dh = diâmetro hidráulico (m)
g = gravidade (m/s²)

$$hf = f \times \frac{L}{Dh} \times \frac{v^2}{2g}$$

Comprimento (L) m	f (fator de atrito)	Gravidade (m/s²)		
2	0,029	9,81	0,210952481	m

PERDA DE CARGA SINGULAR

$hs = k_s \times \frac{v^2}{2g}$

k_s = coeficiente de forma
h_s = perda de carga singular (m)
v = velocidade do fluido (m/s)
g = gravidade (m/s²)

Ks Cotovelo 90°	
0,9	
0,05564781	m

Altura manométrica 2,266600291 m

APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DO RECALQUE

PERDA DE CARGA NA TUBULAÇÃO DE RECALQUE

VOLUME NECESSÁRIO/dia

4500	L
4,5	m³

VAZÃO

900	L/h
0,00025	m³/s

VAZÃO		Velocidade recomendada (1 a 2,5) m/s	
0,00025	m³/s	1	m/s

VELOCIDADE DE ESCOAMENTO

$$Q = v \times A$$

v= velocidade médio do fluido (m/s)
A= área da seção (m²)

Área conduto		Diâmetro conduto		Diâmetro comercial
0,00025	m²	17,84124116	mm	25,4 mm

DIÂMETRO HIDRÁULICO

Dh = D

25,4	mm	Vel. Recalculado	
0,0254	m	0,4934	m/s

Diâmetro comercial
1/2'
25,4
1.1/4'
31,7
20
17

HORAS DE SOL

5	h
300	min

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{d \times v}{\mu}$$

d= diâmetro interno do conduto
v= velocidade médio do fluido
μ=viscosidade cinemática do fluido

Re	Viscosidade
12444,77188	0,000001007

Rugosidade do encanamento

$$\frac{\epsilon}{d}$$

ϵ= rugosidade efetiva
d= diâmetro interno conduto

Rugosidade PVC (mm)		
0,007		
0,000275591	mm	

PERDA DE CARGA DISTRIBUIDA

$$hf = f \times \frac{L}{Dh} \times \frac{v^2}{2g}$$

hf = perda de carga distribuída (m)
f = fator de atrito
L = comprimento do conduto (m)
v = velocidade do fluido (m/s)
Dh = diâmetro hidráulico (m)
g = gravidade (m/s²)

Comprimento (L) m	f	Gravidade (m/s²)	
350	0,0315	9,81	5,385 m

PERDA DE CARGA SINGULAR

$$hs = k_s \times \frac{v^2}{2g}$$

h_s = perda de carga singular (m)
k_s = coeficiente de forma
v = velocidade do fluido (m/s)
g = gravidade (m/s²)

Ks Cotovelo 90°	Quant.
0,9	2
0,02233258	m
Ks Válv. Retenção	
0,5	
0,006203494	m

Altura de recalque	**18**	**m**
Altura manométrica total Recalque	**23,414**	**m**
ALTURA TOTAL (recalque + sucção)	**25,680**	

POTENCIA MOTRIZ DA BOMBA

$$Pm = \frac{\gamma \times Q \times Hm}{75 \times \eta}$$

Pm= potência motriz (CV)
Q= vazão (m³/s)
Peso específico do fluido
Hm= altura manométrica total (m)

			Rendimento bomba
0,142669185	CV		
0,214003777	CV		0,6
1000	kgf/m3		**157 W**

Acréscimo na poten. %	50%
Velocidade de rotação específica (nqa)	**14,50**

Rotação (n)

3480	rpm
58	rps

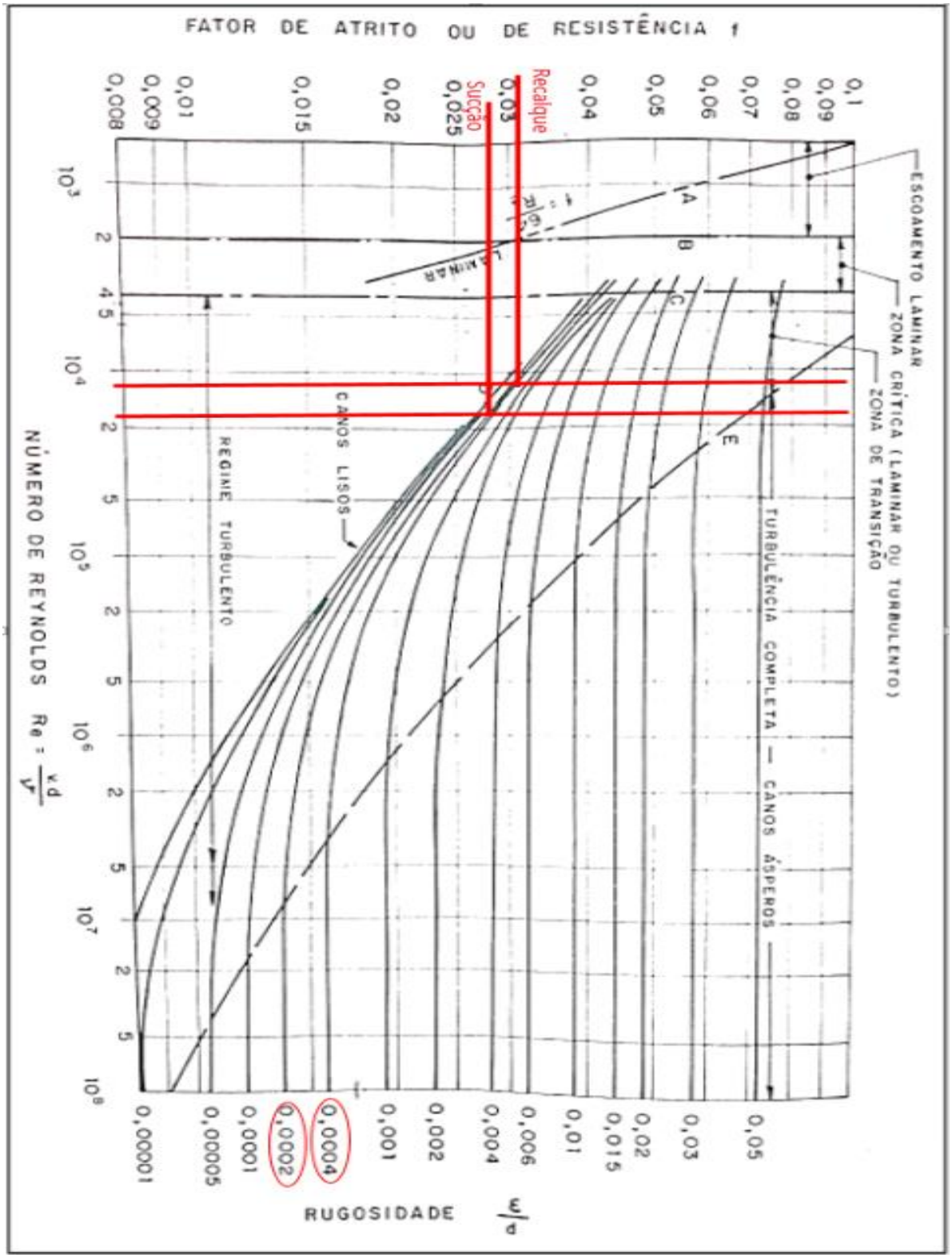
$$nqA = 10^3 \times n \times \frac{Q^{1/2}}{Y^{3/4}}$$

Q em m³/s
Y (salto energético) 251,9252468

APÊNDICE C – CÁLCULOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO			
	Horas de sol	6	h
	Potencia do motor	245	W
	Tempo de uso	4,10	h
Di	Consumo diário	1004,5	W/dia
	Eficiência inversor	0,92	
Pi	Potência do inversor	350	W
Fs	Fator de segurança	0,7	
R	Rendimento Global (R)	0,890	
Vi	Tensão do sistema na entrada	12	V
N1	Autonomia	2	dias
CN	Capacidade nominal da bateria comercial	400	Ah
VB	Tensão da bateria	12	V
Ed	Energia a ser gerada considerando inversor	1091,848	W/dia
ER	Energia real diária	1226,795	W/dia
	Desempenho do sistema fotovoltaico	0,65	
P(painel)	Potência necessária módulo fotovoltaico	314,5629	W
β	Inclinação do módulo	34,5125	°
ϕ	Latitude do local	27,61	°
	Eficiência controlador	1,00	
I	Corrente necessária à bomba	20,41667	A
Pd	Profundidade de descarga	50%	
Cb	Capacidade bateria	167,4167	Ah
	Capacidade real bateria	334,8333	Ah

APÊNDICE D – DIAGRAMA DE MOODY



APÊNDICE E - ORÇAMENTO PARA BOMBA DE 245 W UTILIZANDO CONTROLADOR PWM

Equipamento	Potência projetada (W)	Valor unitário (R$)	Quant.	Valor Total (R$)	Excedente de potência (W)
Ferrari IDB35 1/3CV		190	1	190	30
Painel solar 95 W Yingli Aldo Solar	350 W	405	4	1620	
Inversor Panda 500W	350 W	638	1	638	
Controlador 40A 12V/24V PWM SUN21	31,82 A	422	1	422	
Bateria Max Power Estacionária 400Ah	335 Ah	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.833,20**	
Ferrari IDB35 1/3CV		190	1	190	50
Painel solar 100 W YDTECH	350 W	445	4	1780	
Inversor Panda 500W	350 W	638	1	638	
Controlador 30A 12V/24V PWM SUN21	27,45 A	225	1	225	
Bateria Max Power Estacionária 400Ah	335 Ah	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.796,20**	
Ferrari IDB35 1/3CV		190	1	190	70
Painel solar 140W 3TSolar	350 W	414	3	1242	
Inversor Panda 500W	350 W	638	1	638	
Controlador 40A 12V/24V PWM SUN21	31,65 A	422	1	422	
Bateria Max Power Estacionária 400Ah	335 Ah	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.455,20**	
Ferrari IDB35 1/3CV		190	1	190	100
Painel Risen Solar 150	350 W	446	3	1338	
Inversor Panda 500W	350 W	638	1	638	
Controlador 40A 12V/24V PWM SUN21	33,03 A	422	1	422	
Bateria Max Power Estacionária 400Ah	335 Ah	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.354,20**	
Ferrari IDB35 1/3CV		190	1	190	50
Painel solar 200 W Direct Energy	350 W	765	2	1530	
Inversor Panda 500W	350 W	638	1	638	
Controlador PWM Epever 20A 12/24 V	11,24 A	139	1	139	
Bateria Max Power Estacionária 400Ah	335 Ah	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.460,20**	
Ferrari IDB35 1/3CV		190	1	190	210
Painel 280W Canadian Solar	350 W	660	2	1320	
Inversor Panda 500W	350 W	638	1	638	
Controlador PWM Epever 30A 12/24 V	23,80 A	225	1	225	
Bateria Max Power Estacionária 400Ah	335 Ah	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.336,20**	
Ferrari IDB35 1/3CV		190	1	190	310
Painel Canadian Solar 330W	350 W	754	2	1508	
Inversor Panda 500W	350 W	638	1	638	
Controlador PWM Epever 30A 12/24 V	23,62 A	225	1	225	
Bateria Max Power Estacionária 400Ah	335 Ah	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.524,20**	

APÊNDICE F – ORÇAMENTO PARA BOMBA DE 245 W UTILIZANDO CONTROLADOR MPPT

Equipamento	Potência projetada (W)	Valor unitário (R$)	Quant.	Valor Total (R$)	Excedente de potência (W)
Ferrari IDB35 1/3 CV		190	1	190	65
Painel solar 95 W Yingli Aldo Solar	315 W	405	4	1620	
Inversor Panda 500 W	350 W	638	1	638	
Controlador MPPT Epever 30 A 12/24 V	25,48 A	643	1	643	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	335 Ah	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.054,20**	
Ferrari IDB35 1/3 CV		190	1	190	85
Painel solar 100 W YDTECH	315	445	4	1780	
Inversor Panda 500 W	350	638	1	638	
Controlador MPPT Epever 30 A 12/24 V	21,96	643	1	643	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	335	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.214,20**	
Ferrari IDB35 1/3 CV		190	1	190	105
Painel solar 140 W 3TSolar	315	414	3	1242	
Inversor Panda 500 W	350	638	1	638	
Controlador MPPT Epever 30 A 12/24 V	25,32	643	1	643	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	335	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.676,20**	
Ferrari IDB35 1/3 CV		190	1	190	135
Painel Risen Solar 150 W	315	446	3	1338	
Inversor Panda 500 W	350	638	1	638	
Controlador MPPT Epever 30 A 12/24 V	26,43	643	1	643	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	335	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.772,20**	
Ferrari IDB35 1/3 CV		190	1	190	85
Painel solar 200 W Direct Energy	315	765	2	1530	
Inversor Panda 500 W	350	638	1	638	
Controlador MPPT Epever 20 A 12/24 V	11,24	549	1	549	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	335	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.870,20**	
Ferrari IDB35 1/3 CV		190	1	190	245
Painel 280 W Canadian Solar	315	660	2	1320	
Inversor Panda 500 W	350	638	1	638	
Controlador MPPT Epever 20 A 12/24 V	19,04	549	1	549	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	335	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.660,20**	
Ferrari IDB35 1/3 CV		190	1	190	15
Painel Canadian Solar 330 W	315	754	1	754	
Inversor Panda 500 W	350	638	1	638	
Controlador MPPT Epever 20 A 12/24 V	18,9	549	1	549	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	335	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.094,20**	

APÊNDICE G – ORÇAMENTO PARA BOMBA DE 370 W UTILIZANDO CONTROLADOR PWM

Equipamento	Potência projetada (W)	Valor unitário (R$)	Quant.	Valor Total (R$)	Excedente de potência (W)
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	6
Painel solar 95 W Yingli Aldo Solar	374	405	4	1620	
Inversor Panda 1000 W	528	1045	1	1045	
Controlador 30 A 12V/24 V PWM SUN21	25,48	225	1	225	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.153,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	26
Painel solar 100 W YDTECH	374	445	4	1780	
Inversor Panda 1000 W	528	1045	1	1045	
Controlador 30 A 12V/24 V PWM SUN21	21,96	225	1	225	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.313,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	46
Painel solar 140 W 3TSolar	374	414	3	1242	
Inversor Panda 1000 W	528	1045	1	1045	
Controlador 30 A 12V/24 V PWM SUN21	25,32	225	1	225	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.775,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	76
Painel Risen Solar 150 W	350	446	3	1338	
Inversor Panda 1000 W	350	1045	1	1045	
Controlador 30 A 12V/24 V PWM SUN21	26,43	225	1	225	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.871,20**	
Ferrari IDB35 1/3 CV		300	1	300	26
Painel solar 200 W Direct Energy	350	765	2	1530	
Inversor Panda 1000 W	350	1045	1	1045	
Controlador PWM Epever 20 A 12/24 V	11,24	139	1	139	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.977,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	186
Painel 280 W Canadian Solar	350	660	2	1320	
Inversor Panda 1000 W	350	1045	1	1045	
Controlador PWM Epever 20 A 12/24 V	19,04	139	1	139	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.767,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	286
Painel Canadian Solar 330 W	374	754	2	1508	
Inversor Panda 1000 W	528	1045	1	1045	
Controlador PWM Epever 20 A 12/24 V	18,9	139	1	139	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 3.955,20**	

APÊNDICE H – ORÇAMENTO PARA BOMBA DE 370 W UTILIZANDO CONTROLADOR MPPT

Equipamento	Potência projetada (W)	Valor unitário (R$)	Quant.	Valor Total (R$)	Excedente de potência (W)
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	43
Painel solar 95 W Yingli Aldo Solar	337	405	4	1620	
Inversor Panda 1000 W	528	1045	1	1045	
Controlador MPPT Epever 30 A 12/24 V	25,48	643	1	643	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.571,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	63
Painel solar 100 W YDTECH	337	445	4	1780	
Inversor Panda 1000 W	528	1045	1	1045	
Controlador MPPT Epever 30 A 12/24 V	21,96	643	1	643	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.731,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	83
Painel solar 140 W 3TSolar	337	414	3	1242	
Inversor Panda 1000 W	528	1045	1	1045	
Controlador MPPT Epever 30 A 12/24 V	25,32	643	1	643	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.193,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	113
Painel Risen Solar 150 W	337	446	3	1338	
Inversor Panda 1000 W	350	1045	1	1045	
Controlador MPPT Epever 30 A 12/24 V	26,43	643	1	643	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.289,20**	
Ferrari IDB35 1/3 CV		300	1	300	63
Painel solar 200 W Direct Energy	337	765	2	1530	
Inversor Panda 1000 W	350	1045	1	1045	
Controlador MPPT Epever 20 A 12/24 V	11,24	549	1	549	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.387,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	223
Painel 280 W Canadian Solar	337	660	2	1320	
Inversor Panda 1000 W	350	1045	1	1045	
Controlador MPPT Epever 20 A 12/24 V	19,04	549	1	549	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.177,20**	
Ferrari IDB35 1/2 CV		300	1	300	323
Painel Canadian Solar 330 W	337	754	2	1508	
Inversor Panda 1000 W	528	1045	1	1045	
Controlador MPPT Epever 20 A 12/24 V	18,9	549	1	549	
Bateria Max Power Estacionária 400 Ah	358	963,2	1	963,2	
Total em equipamentos				**R$ 4.365,20**	

APÊNDICE I – ORÇAMENTO DE UMA REDE DE ENERGIA ELÉTRICA

CERTHIL

COOPERATIVA DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL ENTRE RIOS LTDA

CE-OP-067-2018

ORÇAMENTO

Conforme solicitado, apresentamos orçamento referente a instalação de rede interna na propriedade do Sr. [redacted], CPF: [redacted] em Horizontina para instalação de uma bomba d'agua.

No orçamento estão inclusos os valores de materiais como postes, cabos protegidos, etc. Inclusos também valores de mão de obra e deslocamento para execução total do serviço.

VALOR TOTAL: R$ 12.000,00

(Doze Mil Reais)

OBS: Não incluso valor de detonação.

Orçamento com validade de 30 dias.

Três de Maio, 29 de Novembro de 2018

10.415.935/0001-92
COOPERATIVA DE DESENV. SOCIAL ENTRE RIOS LTDA.

Endereço: Av. Avel. 959 - Pavilhão 01
CNPJ: 10.415.935/0001-92 IE: 147/0346773
Telefone: 55-3535-4700

www.certhil.com.br