

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS  
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AUGUSTO ZOTTIS FRIZZO**

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA  
(MCH) EM UMA PROPRIEDADE PRIVADA NO MUNICÍPIO DE BENTO  
GONÇALVES/RS**

**BENTO GONÇALVES**

**2024**

**AUGUSTO ZOTTIS FRIZZO**

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA  
(MCH) EM UMA PROPRIEDADE PRIVADA NO MUNICÍPIO DE BENTO  
GONÇALVES/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, no Campus Universitário da Região dos Vinhedos, da Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Me. André Bernardes Michel

**BENTO GONÇALVES**

**2024**

**AUGUSTO ZOTTIS FRIZZO**

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA  
(MCH) EM UMA PROPRIEDADE PRIVADA NO MUNICÍPIO DE BENTO  
GONÇALVES/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na disciplina de TCC II, ao Curso de Engenharia Elétrica, no Campus Universitário da Região dos Vinhedos, da Universidade de Caxias do Sul, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Aprovado em 02/07/2024.**

**Banca Examinadora**

---

Orientador: Prof. Me. André Bernardes Michel  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Dr. Alexandre Mesquita  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Dra. Marilda Machado Spindola  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Primeiramente a Deus, pela força e sabedoria concedidas ao longo desta jornada acadêmica.

Agradeço aos meus pais, pelo apoio incondicional e por acreditarem em meu potencial.

A minha irmã, por não medir esforços para me auxiliar ao longo desta caminhada.

Ao meu orientador, André, pelo conhecimento compartilhado e pelas valiosas contribuições ao trabalho.

Agradeço também a banca e aos demais professores que proporcionaram muitos aprendizados e que foram de muita valia para a minha formação profissional e pessoal.

## RESUMO

Gerar a sua própria energia ou descentralizar a geração por meio de geração distribuída, vem sendo muito discutida no cenário brasileiro e mundial. A geração distribuída é um caminho próspero para o setor elétrico brasileiro e para seus consumidores, que podem reduzir custos, gerando energia com recursos que já existem. Fontes renováveis de energia, como eólica, solar, biomassa, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) e até Micro Centrais Hidrelétricas (MCH's), possuem papel importante no âmbito econômico por utilizar recursos já disponíveis e muitas vezes sem valor comercial. O projeto desenvolvido neste trabalho objetivou o estudo da viabilidade de implantação de uma MCH, em um córrego existente, no terreno de uma propriedade rural. Analisou-se as variáveis de vazão, desnível e potencial de geração, assim aproveitando o recurso existente e gerando a própria energia, alcançando o potencial de geração de 3,1 kWh/dia para o determinado período que se realizou a medição. Analisou-se também a viabilidade financeira da implantação da micro geradora com sistema *Off-grid* nesta propriedade, onde teve-se que o tempo de retorno do investimento é superior a vida útil do projeto, tornando-o inviável economicamente nas condições observadas.

**Palavras-chave:** Micro Central Hidrelétrica (MCH), Microgeração, Energia renovável, Propriedades rurais.

## ABSTRACT

Generating your own energy or decentralizing generation through distributed generation has been widely discussed on the Brazilian and global scene. Distributed generation is a prosperous path for the Brazilian electricity sector and its consumers, who can reduce costs by generating energy with resources that already exist. Renewable energy sources, such as wind, solar, biomass, Small Hydroelectric Plants (PCH's) and even Micro Hydroelectric Plants (MCH's), play an important role in the economic sphere as they use resources that are already available and often have no commercial value. The project developed in this work aimed to study the feasibility of implementing an MCH, in an existing stream, on the land of a rural property. The variables of flow, unevenness and generation potential were analyzed, thus taking advantage of the existing resource and generating its own energy, reaching a generation potential of 3.4 kWh for the given period in which the measurement was carried out. The financial aspects of implementing microgeneration with an Off-grid system on this property were also analyzed, where it was realized that the return on investment time is longer than the useful life of the project, making it economically unfeasible under the conditions observed.

**Keywords:** Micro Hydroelectric Plant (MCH), Microgeneration, Renewable energy, Rural properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta interna de Energia Elétrica por fonte 2022.....	20
Figura 2 - Turbina Pelton.....	22
Figura 3 - Turbina Francis.....	23
Figura 4 - Turbina Kaplan.....	24
Figura 5 - Representação gráfica para escolha de turbinas.....	25
Figura 6 - Procedimentos e etapas de acesso para ligação da microgeradora na rede elétrica.....	29
Figura 7 - Método do flutuador para medição da vazão.....	32
Figura 8 - Método do nível de pedreiro para medição de altura de queda.....	34
Figura 9 - Método da mangueira de nível para medição de altura de queda.....	35
Figura 10 - Método do teodolito para medição de altura de queda.....	36
Figura 11 - Método utilizando aplicativo para medição de altura de queda.....	37
Figura 12 - Representação Fluxo de Caixa.....	42
Figura 13 - Viabilidade do projeto quanto a TIR e TMA.....	44
Figura 14 - Fluxograma das etapas do estudo.....	48
Figura 15 - Vista geral do local de estudo escolhido.....	49
Figura 16 - Método de medição do volume do recipiente.....	50
Figura 17 - Materiais utilizados na medição da vazão.....	51
Figura 18 - Exemplificação do método do nível a laser.....	52
Figura 19 - Turbina Hidreo mini baixa queda.....	54
Figura 20 - Turbina Hidreo mini baixa queda.....	55
Figura 21 - Procedimento de medição dos tempos de enchimento do recipiente....	58
Figura 22 - Método do nível a laser: Posicionamento do aparelho.....	65
Figura 23 - Método do nível a laser: Marcação do ponto de encontro do feixe de luz com um objeto fixo (árvore).....	65
Figura 24 - Método do nível a laser: Medição da altura de queda.....	66
Figura 25 - Método do teodolito: Posicionamento e medição do ângulo.....	67
Figura 26 - Esquema do local de estudo escolhido.....	68
Figura 27 - Planta baixa do esquema do local de estudo escolhido.....	69
Figura 28 - Potencial hidráulico mensal da MCH.....	70
Figura 29 - Esquema elétrico do sistema resumido.....	74

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tomadas de tempo de enchimento do recipiente: Mês de março.....	59
Quadro 2 - Tomadas de tempo de enchimento do recipiente: Mês de abril.....	60
Quadro 3 - Tomadas de tempo de enchimento do recipiente: Mês de maio.....	61
Quadro 4 - Tomadas de tempo de enchimento do recipiente: Mês de junho.....	62
Quadro 5 - Média final do tempo de enchimento do recipiente.....	63
Quadro 6 - Características técnicas do Inversor De Onda Senoidal Pura Série PST-25S-24E - Samlex Europe.....	71
Quadro 7 - Energia consumida diariamente do sistema de geração.....	73
Quadro 8 - Custo estimado para implantação da MCH.....	75
Quadro 9 - Análise financeira da MCH.....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampére
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ah	Ampére hora
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
AuA	Autorização Ambiental
a.a	Ao ano
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CIP	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
EAS	Estudo Ambiental Simplificado
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FABESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
GC	Geração centralizada
GD	Geração distribuída
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IMA	Instituto de Meio Ambiente
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IUEE	Imposto Único Sobre a Energia Elétrica
Km <sup>2</sup>	Kilômetro quadrado

kW	Quilowatts
kWh	Quilowatts hora
LAI	Licença Ambiental de Instalação
LAO	Licenças Ambientais de Operação
LAP	Licença Ambiental Prévia
l/s	Litro por segundo
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>3</sup> /s	Metro cúbico por segundo
m/s <sup>2</sup>	Metro por segundo ao quadrado
mm <sup>2</sup>	Milímetro
MCH	Micro central hidrelétrica
MW	Megawatts
PCH	Pequena central hidrelétrica
PIS	Programa de Integração Social
PRODIST	Procedimento de Distribuição
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RS	Rio Grande do Sul
s	Segundo
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SIGA	Sistema de Informações de Geração
SIN	Sistema Interligado Nacional
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
Un	Unidade
V	Volts
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido
W	Watts

Wh	Watts hora
Wp	Watts pico
°	Graus
%	Porcentagem
∅	Diâmetro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS.....	14
<b>1.1.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>14</b>
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 ESCOPO DO TRABALHO.....	15
<b>1.3.1 Limitação.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.2 Divisão do trabalho.....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	17
2.2 ENERGIA HIDRELÉTRICA.....	19
<b>2.2.1 Classificação das centrais hidrelétricas.....</b>	<b>21</b>
2.2.2 Turbinas.....	21
2.2.2.1 Turbina Pelton.....	22
2.2.2.2 Turbina Francis.....	23
2.2.2.3 Turbina Kaplan.....	23
2.2.3 Geradores.....	25
2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	26
2.3.1 Facilidades e Empecilhos.....	29
2.4 PLANEJAMENTO TÉCNICO.....	30
<b>2.4.1 Escolha do local.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.2 Métodos para medição de Vazão.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.3 Métodos para medição da Altura de Queda.....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.4 Cálculo do Potencial Hidráulico.....</b>	<b>37</b>
<b>2.4.5 Seleção do conjunto Turbina Gerador.....</b>	<b>38</b>
2.5 ANÁLISE FINANCEIRA DO PROJETO.....	41
2.5.1 Fluxo de caixa e taxa mínima de atratividade (TMA).....	42
2.5.2 Valor presente líquido (VPL).....	43
2.5.3 Taxa interna de retorno (TIR).....	43
2.5.4 Payback descontado.....	44
2.6 ASPECTOS AMBIENTAIS.....	45
2.7 TRABALHOS CORRELATOS.....	46
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>48</b>
3.1 ESCOLHA DO LOCAL E DEFINIÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	48
3.2 MEDIÇÃO DA VAZÃO.....	49
3.3 MEDIÇÃO DA ALTURA DE QUEDA.....	52
3.4 CÁLCULO DO POTENCIAL HIDRÁULICO.....	53

3.5 ESCOLHA DO CONJUNTO TURBINA GERADOR.....	53
3.6 ANÁLISE FINANCEIRA.....	56
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISES.....</b>	<b>58</b>
4.1 VAZÃO.....	58
4.2 ALTURA DE QUEDA.....	64
4.3 POTENCIAL HIDRÁULICO.....	69
4.4 CONJUNTO TURBINA GERADOR.....	71
4.5 ESTUDO DE VIABILIDADE FINANCEIRA.....	74
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>79</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	80
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE A - ESQUEMA ELÉTRICO DA MCH.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO A - MANUAL HIDREO MINI BAIXA QUEDA.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO B - FICHA TÉCNICA INVERSOR SAMLEX.....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Fontes de energia renováveis são fontes capazes de renovar-se a uma taxa maior do que é consumida, as quais podem ser utilizadas para produzir eletricidade (REIS, 2017). Um bom exemplo é a hidroeletricidade que é uma fonte de energia sólida e confiável e que se dá através da água, conforme a FABESP (2010), após o advento da energia elétrica, as hidrelétricas se consolidaram como a forma mais fácil, barata e segura de se obter este recurso e mesmo com o desenvolvimento de novas tecnologias a energia hidrelétrica continua a ser o recurso renovável mais desenvolvido em todo o mundo, correspondendo a cerca de 85% da produção de eletricidade renovável.

Com o aumento da população mundial e solicitação cada vez mais acelerada de energia, vê-se a necessidade de novas formas e tecnologias de obtenção. Há inúmeras maneiras de se obter energia, no caso da hidrelétrica a energia é gerada através do movimento de turbinas, as quais são rotacionadas pela pressão da água que cai sobre as pás, ocasionando a rotação do eixo de uma polia, a qual é ligada ao eixo de um gerador e assim, transforma a energia cinética em elétrica (ANEEL, 2008).

O que se busca como engenheiros e gestores dos procedimentos é otimizar da melhor maneira possível os recursos disponíveis. Segundo o IEMA (2019), somente na Amazônia cerca de um milhão de pessoas não têm acesso a energia elétrica e sabe-se que este local é farto de recursos hídricos, porém não são bem aproveitados. Diante disto, surge a necessidade de estudos de implantação da microgeração de energia.

No Brasil, no início de 2024, a potência total instalada foi de aproximadamente 199.324,5 MW (ANEEL, 2024). De acordo com o Sistema de Informações de Geração (SIGA), desse total em operação, 83,67% das usinas são impulsionadas por fontes consideradas sustentáveis com baixa emissão de gases do efeito estufa. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2016), a microgeração distribuída utiliza fontes renováveis como forma de produção de energia elétrica através de centrais geradoras, sendo um meio mais fácil das pessoas gerarem a sua própria energia.

A escolha do tema se deu devido ao Brasil ser um país de dimensões

territoriais enormes e totalmente transposto por bacias hidrográficas, as quais devem ser aproveitadas da melhor forma possível. É conveniente utilizar tal recurso como forma de geração de energia elétrica em locais remotos sem intervir no curso natural da água. Portanto, argumenta-se a escolha do tema como forma alternativa de geração de energia em uma propriedade que já possui tal recurso e não faz o uso do mesmo, através do estudo da implantação de uma microcentral.

O estudo de caso é a pesquisa de um fenômeno no seu contexto real, tendo por base fontes de evidências para que ajude no desenvolvimento das possíveis teorias levando a coleta e análise de dados em campo. Realiza-se o estudo para verificar a viabilidade técnica e financeira da instalação da MCH (Micro Central Hidrelétrica) em um córrego que cruza uma propriedade privada na cidade de Bento Gonçalves/RS. Vale ressaltar que a água utilizada para a movimentação das turbinas será totalmente devolvida ao córrego, produzindo energia de forma limpa e sustentável.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo para verificar a viabilidade da implantação de um micro central hidrelétrica (MCH) em uma propriedade privada em Bento Gonçalves/RS.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

1. Realizar levantamento em campo das características da área de estudo para o levantamento do potencial de geração.
2. Realizar os cálculos de vazão, altura de queda, potencial de geração e especificar a turbina e equipamentos complementares que melhor se adequam à área de estudo.
3. Avaliar a viabilidade técnica e financeira da implantação da micro

geradora com sistema *Off-grid* na propriedade estudada.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Uma das motivações da escolha do tema se deu principalmente pela abundância de recursos hídricos disponíveis no Brasil, os quais na maioria das vezes não são utilizados para fins de geração de energia. Outro motivo está relacionado aos altos valores das tarifas cobrados pelas concessionárias, os quais sofrem reajustes constantes. Com a implementação da MCH se pretende produzir parte da energia e conseqüentemente obter redução no valor pago na fatura de energia.

## 1.3 ESCOPO DO TRABALHO

### 1.3.1 Limitação

A pesquisa apresenta algumas limitações, como o trecho em que se deu a análise das variáveis, o qual é de aproximadamente 30 metros de extensão e se localiza na cidade de Bento Gonçalves/RS. Outro ponto limitado foi em relação ao período das medições da vazão, onde se deram em apenas quatro meses (março, abril, maio e junho) e abrangendo duas estações do ano (verão e outono).

### 1.3.2 Divisão do trabalho

O presente trabalho contém cinco capítulos, sendo que no primeiro apresentam-se os objetivos geral e específicos, a justificativa, o escopo do trabalho e ainda, uma breve introdução do tema a ser abordado. No segundo tem-se a revisão bibliográfica, a qual agrega conhecimento e contribui para o desenvolvimento da metodologia. No terceiro, tem-se a definição da área de estudo, bem como a descrição das etapas que foram desenvolvidas para coleta de dados, em geral. No quarto capítulo apresentam-se os resultados e análises obtidos com o estudo e por fim, no quinto, apresentam-se as considerações finais.

O trabalho está limitado à análise do potencial de geração da área de estudo.  
É de cunho acadêmico e sem fins lucrativos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diante da necessidade da criação de métodos de obtenção de energia, até mesmo em locais mais afastados, vê-se a vantagem da utilização de uma micro central hidrelétrica, que segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2022), são centrais geradoras cuja potência é inferior a 100 kW, deste modo podem ser utilizadas por pequenos consumidores. Para verificação da viabilidade de implantação é importante seguir as etapas do estudo e desta forma dar sequência no projeto.

Neste capítulo o assunto será abordado sob a ótica e a explanação de conceitos gerais. Buscará demonstrar um pouco da história da energia elétrica, conceituar energia hidrelétrica, geração distribuída, os tipos de turbinas e acessórios, as normas e legislações, as metodologias de cálculo, etapas do estudo, entre outros.

### 2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Durante muito tempo a humanidade viveu sem ter o recurso da energia elétrica o que tornava as atividades mais difíceis e demoradas. Com o surgimento da eletricidade tem-se um avanço enorme, surgem novos equipamentos, formas de locomoção, projetos e tecnologias.

No Brasil, a introdução da energia elétrica ocorreu em 1879, fato que resultou na primeira instalação de iluminação permanente no país. Tal feito se deu no governo de Dom Pedro II, o qual, posteriormente em 1883, inaugurou a primeira usina hidrelétrica no município de Diamantina chamada de Ribeirão do Inferno e possuía desnível de 5 metros (MULLER, 1995).

A rápida expansão da eletricidade inicialmente se voltou às necessidades de iluminação e logo em seguida ao abastecimento de indústrias e setores produtivos. Entre 1883 e 1900, o setor elétrico brasileiro expandiu-se em 178 vezes, o que acabou atraindo investidores estrangeiros (SICARI, 2020). Com tamanho desenvolvimento teve-se o surgimento de novas empresas e formas de se produzir energia, o que fez com que a União criasse direitos sobre o uso das águas, culminando com a assinatura do Código de Águas que é atuante até os dias atuais.

Goldemberg (2005) diz que “a geração de eletricidade no Brasil cresceu a uma taxa média anual de 4,2% entre 1980 e 2002 e sempre a energia hidráulica foi dominante”. Vê-se a necessidade do cuidado, domínio e uso correto deste recurso.

Segundo Alves (2007), após a Grande Guerra os governos começaram a ter mais interesse em deter poder das empresas que geravam e distribuíam energia, então criou-se o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE) substituído em 1960 pelo Ministério de Minas e Energia. Em 1961, criou-se a Empresa Mista Centrais Elétricas Brasileiras S/A (Eletrobrás) e o Imposto Único Sobre a Energia Elétrica (IUEE).

Em 1973, foi assinado o tratado entre o Brasil e o Paraguai para a construção da Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional. Na década de 1990, a Eletrobrás limitou a atuação das empresas regionais, tornando-as responsáveis pela distribuição. Nesta mesma época ocorreram mudanças expressivas no setor elétrico brasileiro, como a revogação do regime de equalização tarifário em 1993 através da Lei 8.631, que dizia que os reajustes tarifários deveriam variar em função dos custos de produção (SICARI, 2020). Outro marco importante para o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) foi a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 1996, órgão responsável pelas atividades do setor.

Em 2001, conforme Dawalibi (2004 apud ALVES, 2007), com a notícia do Governo Federal de que os reservatórios de água destinados à geração de energia estavam com seus níveis muito baixos e que poderiam afetar o abastecimento se sobressai a busca por novas alternativas. Com isso, surgem investimentos em áreas que antes não eram tão exploradas e a busca por novas fontes geradoras se faz necessário. Passa-se a ouvir falar mais em termelétricas, eólicas, fotovoltaicas, MCHs e PCHs.

Em janeiro de 2015, entra em vigor o sistema de bandeiras tarifárias no setor elétrico brasileiro que visa a cobrança de um valor adicional à conta de energia e é repassado mensalmente, ele varia de acordo com as condições de geração energética em que o país se encontra. A partir daí não houve grandes marcos no setor, hoje a SEB possui um modelo com empresas independentes, onde se encontram geradoras, distribuidoras, operadoras de linhas de transmissão e comercializadores de energia (SICARI, 2020).

## 2.2 ENERGIA HIDRELÉTRICA

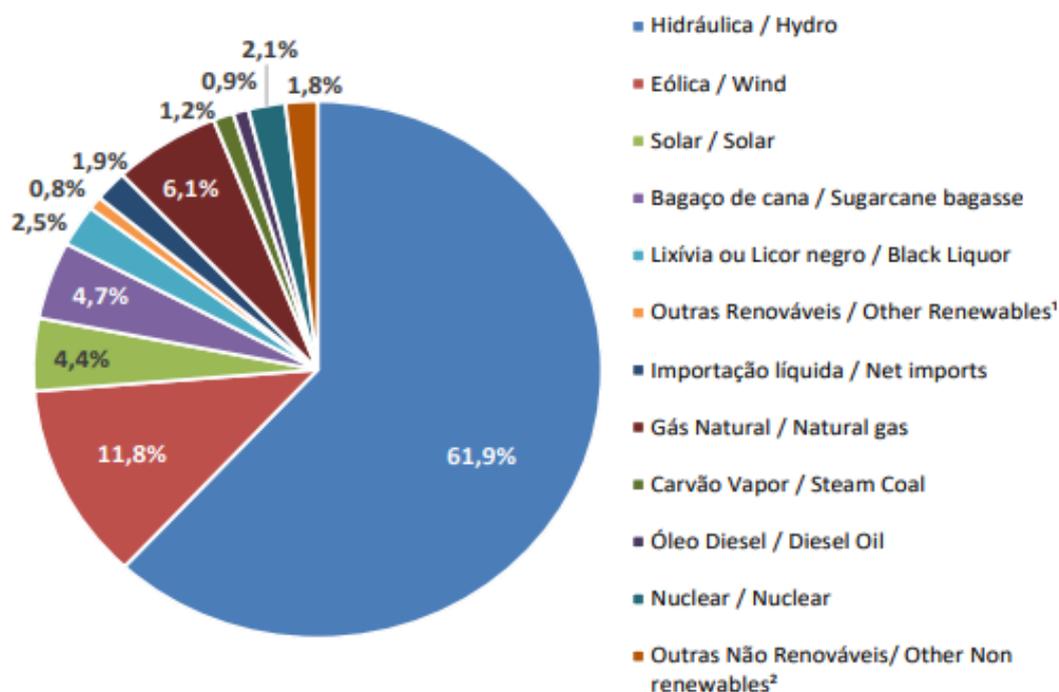
A energia hidrelétrica, também chamada de hidráulica ou hídrica, já era utilizada no século I para mover rodas na moagem de cereais. Chiaravalloti e Pádua (2011) conceituam a energia hidrelétrica como obtenção de energia elétrica através do aproveitamento do potencial hidráulico de um rio. Já a ANEEL (2008, p. 53), diz que:

A energia hidrelétrica é gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina na qual as obras civis – que envolvem tanto a construção quanto o desvio do rio e a formação do reservatório – são tão ou mais importantes que os equipamentos instalados. (ANEEL, 2008, p. 53)

Segundo Kagan et. al (2010), o Brasil possui um dos maiores potenciais hidráulicos do mundo. Por se tratar de uma forma de geração de energia renovável vê-se como muito vantajosa e sustentável.

As matrizes elétricas são formadas pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica em determinado local (EPE, 2023). Hoje no mundo, a geração através de combustíveis fósseis ainda se sobressai, porém quando visualizado a nível Brasil, é a proveniente da água que se destaca. Na Figura 1 podemos observar a matriz elétrica brasileira.

Figura 1 - Oferta interna de Energia Elétrica por fonte 2022



Notas / Notes:

1. Inclui Lenha, Biodiesel e Outras renováveis / Includes Firewood, Biodiesel and Other Renewables

2. Inclui Óleo Combustível, Gás de Coqueria, Outras Secundárias e Outras Não-Renováveis/ Includes Fuel Oil, Coke Oven Gas, Other Secondaries and Other Non-Renewables

Fonte: Balanço Energético Nacional (2023).

A geração de energia através da água apresenta grande potencial de desenvolvimento o que torna a exploração do mesmo interessante, seja para grandes usinas ou para micro centrais hidrelétricas. As MCHs vêm sendo cada vez mais consideradas no planejamento energético nacional, alternativa que possibilita levar energia a locais afastados onde a distribuição da concessionária não chega, ou ainda, como forma de complemento onde já tem atendimento, servindo para economia e garantia do fornecimento (IURCHEVICZ, 2017). Além de que apresenta pequeno impacto ambiental por não necessitar de grande intervenção para sua implantação.

A ideia de uma usina hidrelétrica é o aproveitamento da quantidade e da vazão de água disponíveis utilizando os desníveis naturais ou ainda, criando desníveis artificiais por meio de construções (ANEEL, 2008). Ainda, conforme a Agência, os desníveis artificiais chamados de barragens, proporcionam uma diferença de potencial maior, regulam as vazões e ainda servem como reservatório.

### 2.2.1 Classificação das centrais hidrelétricas

As usinas hidrelétricas podem ser classificadas de diversas formas, as quais variam de acordo com o uso da vazão natural, da potência, da forma de captação de água e função dos sistemas. Para usinas que utilizam vazões naturais, de acordo com Reis (2017), classificam-se em:

- Fio d'água: Não é empregada para armazenamento de água, utiliza-se somente a vazão natural do curso do rio. Sua produção é variável pois depende da vazão do rio.
- Usinas com reservatórios de acumulação: Dispõe de um reservatório para armazenar água no período de cheias, para uso em épocas de estiagem.
- Usina reversível: Durante as horas de baixa demanda é bombeada a água de um represamento do canal de fuga para um reservatório a montante, para posterior utilização. Como há perda de energia na operação dessas usinas, faz-se necessário um planejamento estratégico para o alcance de rendimento econômico desse sistema.

Já em relação a potência instalada, pode-se classificar em (ELETROBRÁS, 1985):

- Micro central: Potência instalada menor que 100 kW.
- Mini central: Potência instalada menor que 1000 kW.
- Pequena central: Potência instalada menor que 10000 kW.
- Média central: Potência instalada menor que 100000 kW.
- Grande central: Potência instalada maior que 100000 kW.

### 2.2.2 Turbinas

Para conversão da energia potencial produzida pelo recurso hídrico em energia mecânica utilizam-se as turbinas hidráulicas (SINGH, 2009). Segundo Nuernberg et al. (2017) a turbina é “máquina rotativa que converte em energia mecânica a energia de pressão e cinética de um fluxo de água, esta energia

mecânica é transferida através de um eixo movimentado pela ação da água em sua corrente”. As turbinas são geralmente classificadas quanto ao seu princípio de funcionamento, podendo ser turbinas de impulso/ação ou de reação. Singh (2009), cita como exemplo de turbina de ação a Pelton e a fluxo cruzado e como turbina de reação coloca a Francis, Kaplan e Propeller.

As turbinas de ação são mais aplicáveis em pequenas hidrelétricas pois são mais simples, compactas, fáceis de manter, o que as torna mais viáveis financeiramente. Elas não trabalham imersas em água, mas sim no ar, suas pás são impulsionadas por jatos de água que transformam em força e fazem com que o rotor gire (SINGH, 2009).

Já as turbinas de reação ficam submersas. Neste tipo a pressão atmosférica diferente entre a superfície e o local da turbina contribui para o giro do rotor que recebe as forças da água em suas pás. São mais caras porém, possuem maior eficiência (SINGH, 2009). Para a escolha da turbina ideal para a geradora, deve-se observar a altura de queda e o volume de água disponível (vazão).

#### 2.2.2.1 Turbina Pelton

A turbina Pelton foi criada em 1879 pelo carpinteiro e inventor americano Lester Allan Pelton. Seu princípio de operação reflete o da roda clássica dos antigos moinhos onde um conjunto de pás são girados por jatos de água que colidem com as pás, gerando impulso que gira o rotor da turbina e transmitindo energia ao eixo da turbina. Eles são usados apenas para locais com quedas altas, variando de 60 m a mais de 1000 m (SINGH, 2009). A Figura 2 ilustra uma turbina do modelo Pelton.

Figura 2 - Turbina Pelton



Fonte: Singh (2009).

### 2.2.2.2 Turbina Francis

A turbina Francis foi desenvolvida em 1848 por James B. Francis, é o modelo mais utilizado até hoje. Singh (2009), diz que este tipo de turbina é adequada para quedas médias, entre 10 até 200 metros. Afirma também que elas contêm palhetas guia que direciona a água tangencialmente ao corredor da turbina fazendo com que o fluxo gire o rotor, além de possuir um sistema que possibilita a regulação do fluxo de água que entra no rotor diminuindo a perda hidráulica por atrito e consequentemente aumentando sua eficiência. A Figura 3 ilustra uma turbina do modelo Francis.

Figura 3 - Turbina Francis



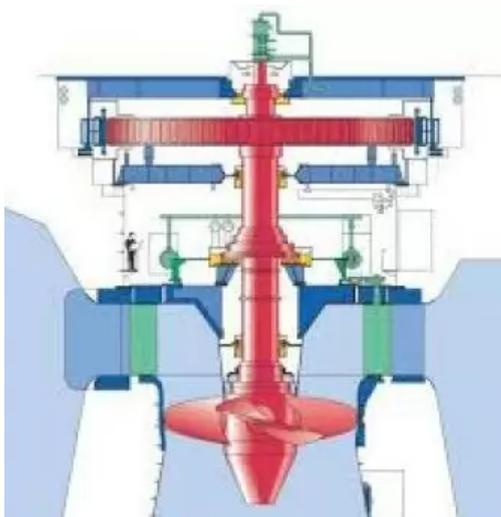
Fonte: WEG (2023).

### 2.2.2.3 Turbina Kaplan

Projetada em 1913 pelo professor austríaco Viktor Kaplan, segue o princípio de operação das hélices de um navio. Singh (2009), explana que o modelo possui pás ajustáveis e sua principal vantagem é a sua capacidade de trabalhar em locais de baixa queda e em alto fluxo. Seu modo de trabalho é bem semelhante ao da Francis, onde o fluxo de água é direcionado de forma a seguir a direção axial na

entrada e saída da água. As eficiências alcançadas pela turbina Kaplan são superiores a 90%. A Figura 4 ilustra uma turbina do modelo Kaplan.

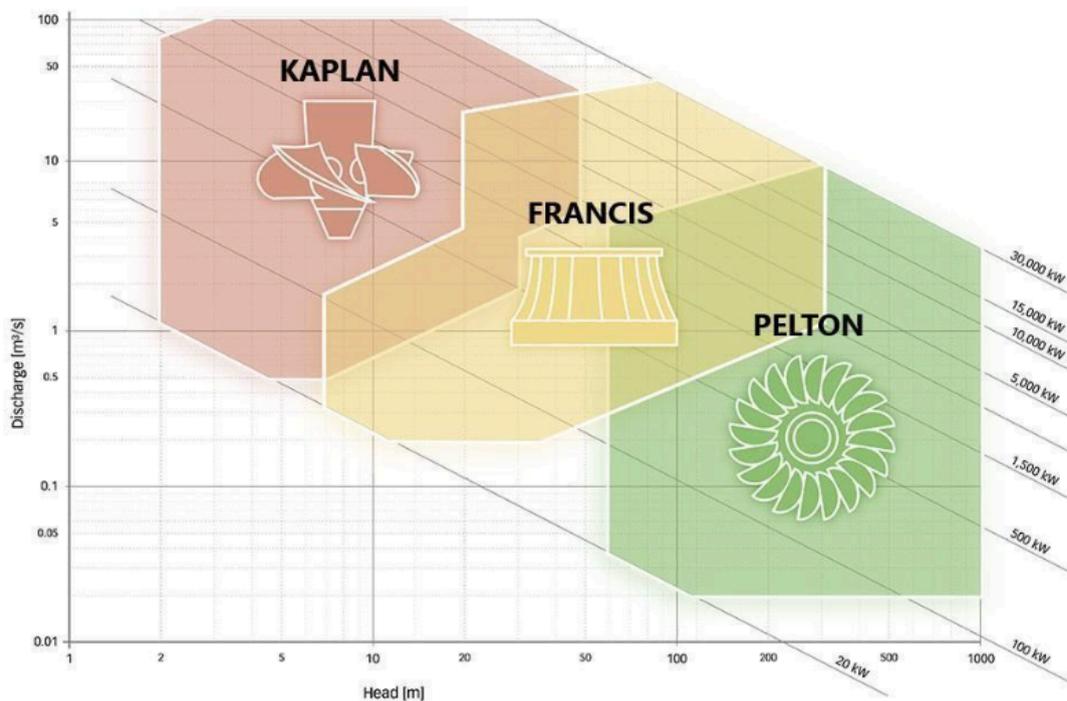
Figura 4 - Turbina Kaplan



Fonte: Singh (2009).

Segundo Rubik (2021), é possível escolher a turbina a partir da análise gráfica demonstrada na Figura 5, o qual leva em consideração a vazão, a altura de queda e também a potência disponível em quilowatts. O gráfico ajusta os parâmetros conforme características de cada uma das turbinas, bastando analisar o ponto de cruzamento dos eixos X e Y para se obter a indicação da turbina adequada.

Figura 5 - Representação gráfica para escolha de turbinas



Fonte: Adaptado de Andritz (2023).

### 2.2.3 Geradores

Os geradores são os responsáveis por transformar a energia mecânica fornecida pela turbina em energia elétrica e são classificados basicamente em dois tipos: síncronos ou assíncronos (LUDWIG, 2016). Os síncronos possuem uma estrutura que consiste no estator que é fixo e no rotor que é móvel. O rotor, envolto por um enrolamento, é alimentado por uma fonte de tensão contínua através de anéis coletores e escovas, gerando um campo magnético. Conectado à máquina primária (turbina) o rotor provoca a variação do fluxo magnético necessário para induzir tensões elétricas nos enrolamentos do estator (RUBIK, 2021). A maioria dos geradores utilizados para geração de energia elétrica são síncronos.

Já os assíncronos possuem estrutura simplificada e de fácil manutenção, porém a velocidade do rotor precisa ser mantida superior à sua velocidade síncrona e deve ser mantida com a maior constância possível para prevenir variações abruptas na frequência, o que é difícil quando relacionado com vazão de pequeno córregos a qual possui grande variação.

## 2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Quando referem-se em geração de energia nos remete a usinas de grande porte, como hidrelétricas, termelétricas, parques eólicos e solares, a qual é transportada a partir de longas linhas de transmissão e distribuída por concessionárias até o consumidor, chamada de geração centralizada (GC). De acordo com Cortez (2020), como forma de descentralização de maneira a ajudar a suprir o crescimento energético do país e melhorar o aspecto econômico, em 2012, a ANEEL publicou a Resolução Nº 482/2012 que incentiva os brasileiros a gerarem sua própria energia conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Segundo a Agência Nacional de Águas, o SIN é um sistema de controle de grande porte para produção e transmissão de energia elétrica. Para fins de conceituação e diferenciação, descreve-se os segmentos de acordo com Cortez (2020):

- Geração: É o segmento inicial da produção da energia.
- Transmissão: São as estruturas intermediárias, que ligam a etapa de geração às linhas de transmissão, tendo como finalidade a transmissão de energia elétrica por longos caminhos.
- Distribuição: Segmento final no sistema de fornecimento de energia elétrica. Nesta etapa ocorre o transporte da energia até as residências, indústrias e comércios.
- Comercialização: Etapa que se diz como consumidor final, onde finalmente a energia obtida na geração chega ao consumidor. Etapa a qual ocorre as comercializações.

Segundo o INEE (2023), a geração distribuída é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima do(s) consumidor(es) independente da potência, tecnologia e fonte de energia. De acordo com Silva (2018), caracterizam-se pelo pequeno porte e proximidade com a carga. Já a CEMIG (2019), define a geração distribuída como, "centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição através de instalações de unidades consumidoras". A ANEEL (2016), através dos Cadernos Temáticos, também coloca que a MCH consiste na

produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada.

Vale ressaltar que a GD tem vantagem em relação às GCs, pois economiza investimentos em transmissão e reduz as perdas nos sistemas. A Resolução N° 482/2012 relacionada ao sistema brasileiro de compensação de energia elétrica dizia que o cliente que produzir mais energia que seu consumo poderá injetar na rede da concessionária de energia local trocando por créditos em kWh ou abatendo nas próximas tarifas, sempre sendo em forma de energia e não de cunho financeiro. Ainda neste modelo é possível utilizar os créditos em outras unidades dentro da mesma área de concessão (ANEEL, 2016). Em 2018, a ANEEL deu início ao processo de revisão da REN 482 e somente em 2022 ocorreu a publicação de uma nova Lei referente a GD.

O chamado Marco Legal da geração distribuída, foi sancionado através da Lei 14.300/2022, a qual traz segurança jurídica e estabelece as regras para todos os envolvidos no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Uma importante mudança que ocorreu com a publicação da Lei foi em relação a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), a qual passa a ter um custo relacionado a rede de distribuição, o chamado “fio B”, além de que os créditos gerados pelos sistemas da GD deixam de ser abatidos sobre a parcela da conta de energia (BRASIL, 2023). Neris (2022), ressalta que para os sistemas existentes antes da Lei ou os que realizarem a solicitação de orçamento de conexão (antiga solicitação de acesso) até 07/01/2023, continuarão com a mesma regra do sistema de compensação até 2045. Segundo a ANEEL, desde a publicação da Lei já foram efetivadas pelas distribuidoras de todo o Brasil mais de 780 mil de conexões de micro e minigeração distribuída, totalizando mais de 7,6 GW de potência instalada.

Com este sistema houve aumento na procura de implantação de microcentrais. Além de que, a geração distribuída possibilita a implementação das mesmas, pois se encaixa nos limites e conceitos de geração determinados pela ANEEL além de ser uma alternativa sustentável (RUBIK, 2021).

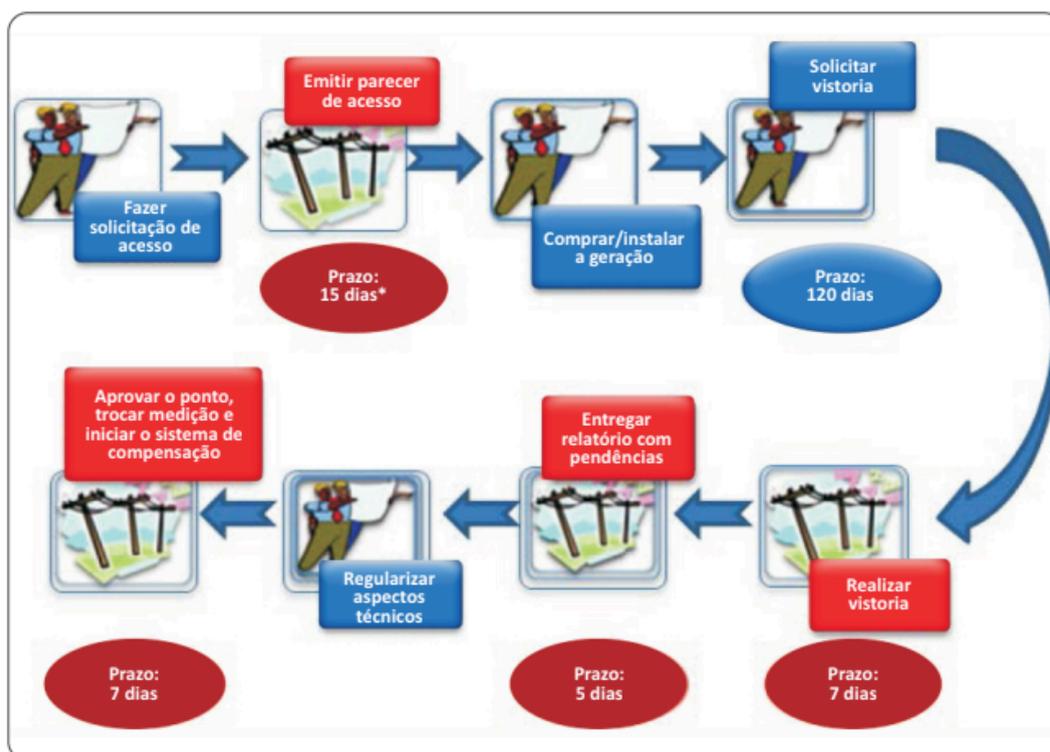
A Eletrobrás define a microgeração distribuída em uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100kW. As micro centrais possuem inúmeras outras vantagens, são elas: fornecimento de energia constante (quando comparado a outras), baixo ruído e poluição do ar, reduz o risco de

inundações nos anos seguintes a implantação, irrigação a pequena escala, implantação de pequenas indústrias e moinhos, entre outros. Fatores que contribuem também para a comunidade em geral, a qual pode se beneficiar das vantagens (SINGH, 2009). Para microcentrais, em caso de barragens, a altura não pode ultrapassar 3 metros, sendo que essas condições garantem um comportamento típico à fio d'água (ELETROBRÁS, 1985).

Para efetivação da ligação da microgeradora até a rede elétrica deve-se seguir os passos estabelecido no Módulo 3 do PRODIST da ANEEL (2021). Também deve seguir os procedimentos conforme a resolução normativa nº 482/2012. Todo portador de CPF ou um CNPJ ativos, podem conectar sua MCH no sistema de geração de energia elétrica.

A solicitação pode levar algum tempo até sua aprovação, pois cada passo possui prazos pré determinados. Segundo a ANEEL (2016), após a solicitação de acesso a distribuidora deverá emitir o parecer de acesso onde consta as condições e os requisitos técnicos, posteriormente ocorre a etapa de vistoria e regularização das pendências, se necessário, para então ter a aprovação para início do uso. A Figura 6 ilustra as etapas necessárias para concessão da ligação bem como os prazos.

Figura 6 - Procedimentos e etapas de acesso para ligação da microgeradora na rede elétrica



Fonte: ANEEL (2016).

### 2.3.1 Facilidades e Empecilhos

Assim como outros setores a geração de energia também apresenta facilidades e empecilhos para sua concepção, execução e atuação (DIAS et. al, 2016). Busca-se indicar as principais oportunidades e barreiras para implantação da geração distribuída no Brasil.

De acordo com artigo publicado pela Sociedade Brasileira de Planejamento Energético por Dias et al. (2016), algumas das oportunidades relacionadas a implantação da geração distribuída, são: redução de despesas com energia, postergação de investimentos, redução de perdas nas linhas de transmissão e distribuição, confiabilidade, atendimento a comunidades isoladas, novas opções de negócios, diminuição de impactos ambientais, redução de áreas alagadas, melhora da qualidade do fornecimento.

Conforme os autores colocam, é possível reduzir as perdas através da GD

devido a menor distância que a carga percorre. Segundo DPCA (2005), essa redução representa uma economia nos sistemas de transmissão e distribuição de 2,34 a 3,14 US\$ por MWh produzido. A GD também pode contribuir para melhora na qualidade da energia em áreas sobrecarregadas, além de reduzir custos e aumentar a confiabilidade do sistema. Este método auxilia também durante ocorrência de acidentes naturais evitando longos períodos sem fornecimento de energia.

As barreiras são muitas, entre elas: alto custo na implantação de tecnologias, níveis de consumo de energia atuais atendidos, dificuldades nos procedimentos de operação e proteção, entre outras. A falta de normas e a padronização é um dos principais desafios, deixando os clientes à mercê de normas específicas de cada concessionária (DIAS et. al, 2016).

Segundo Gama et al. (2003), em relação às barreiras enfrentadas na implantação da geração distribuída, hoje as principais são: dificuldade de acesso seguro à rede com condições justas, competição desigual no mercado de energia, regras de mercado que incentivam a ineficiência, oposição exercida pelo monopólio das grandes companhias, falta de consciência quanto aos benefícios da GD, poucos países têm organizações bem estruturadas para promover a GD, entre outros.

## 2.4 PLANEJAMENTO TÉCNICO

Nesta etapa se apresenta o planejamento técnico e os métodos de cálculo que podem ser utilizados para a execução de uma micro central. Analisaram-se variáveis como, vazão, altura de queda e potencial de geração. Souza et al. (2009), dizem que para implantação de microcentrais hidrelétricas, deve-se seguir algumas etapas, são elas:

- a) Escolha do local para instalação da microgeração;
- b) Topografia e geomorfologia do aproveitamento hídrico;
- c) Medição da vazão;
- d) Medição da altura de queda bruta;
- e) Cálculo do potencial hidráulico;

f) Seleção do conjunto turbina-gerador.

#### 2.4.1 Escolha do local

Inicialmente, se faz necessário a escolha do local onde se pretende instalar a microgeradora. Conhecer as características do local, sua topografia e possíveis interferências se faz de extrema importância, com isso é possível melhor dimensionar as atividades a serem executadas (RUBIK, 2021).

Buscou-se um local onde possuía livre acesso e fosse próximo a residência. Verificou-se também junto ao proprietário se permitia o uso do local para o estudo.

#### 2.4.2 Métodos para medição de Vazão

A vazão de um curso d'água é o volume de água que passa por uma área em determinado tempo, sendo o valor expresso em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ), de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (RUBIK, 2021). Segundo Daker (1983), há várias formas de fazer a medição da vazão de águas correntes e variam de acordo com as dimensões do curso de água, da precisão desejada e do intuito da medição.

A forma mais simples é a de medição direta com o método volumétrico, porém, só pode ser aplicada em pequenos cursos de água. Neste tipo de medição pega-se um recipiente de volume conhecido e marca-se o tempo que leva para enchê-lo (SANTOS, 2001), o recipiente pode variar desde um balde, até um recipiente exclusivo feito para a medição. Faz-se no mínimo três medições, a qual se calcula uma média do tempo e aplica-se na Equação 01.

$$Q = \frac{V}{\Delta T} \quad (01)$$

Onde:

$Q$  = Vazão ( $m^3/s$ );

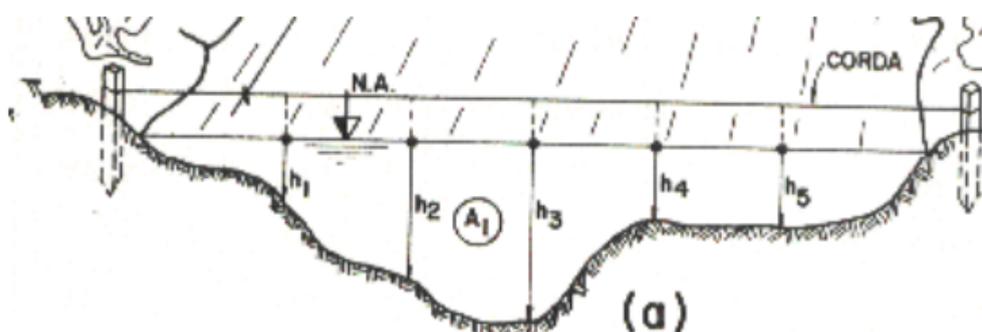
$V$  = Volume do recipiente ( $m^3$ );

$\Delta t$  = Média da variação do tempo para encher o recipiente (s).

Outro método que pode ser utilizado é do molinete, este mede as velocidades da água em pontos da seção. Consiste em um molinete que gira a partir do fluxo da água, onde a quantidade de voltas são medidas em determinado tempo por meio de um contador. Com isso, é possível determinar a velocidade/vazão utilizando uma equação disponibilizada pelo fabricante do molinete (RIOS et al., 2011).

Um método muito conhecido, simples e eficaz para córregos maiores é o método do flutuador, onde coloca-se um objeto flutuante e mede-se o tempo necessário para que esse objeto se desloque de um ponto a outro em um trecho com comprimento conhecido. É preciso executar em um trecho reto do curso d'água cujo leito seja uniforme e onde a água flua serenamente (SOUSA et al., 2002). A Figura 7 demonstra as formas de medições para este método.

Figura 7 - Método do flutuador para medição da vazão



Fonte: Sousa et al. (2002).

Os objetos usados na medição podem ser diversos, como: laranja, garrafa plástica ou isopor. O método é muito criticado em seus resultados em razão de poder sofrer interferência do vento, diante disto, Cofferi (2017) diz que Organização Mundial de Meteorologia recomenda que se utilize um coeficiente que pode variar de 0,85 a 1,00 dependendo da forma da seção transversal, tipo do flutuador e distribuição da velocidade para correção da interferência. A Equação 02 demonstra a fórmula geral do método flutuador.

$$Q = \frac{A \times L \times C}{T} \quad (02)$$

Onde:

$Q$  = Vazão ( $m^3/s$ );

$A$  = Média das áreas da seção transversal do rio - Distância entre as margens multiplicada pela profundidade do rio ( $m^2$ );

$L$  = Comprimento do trecho de medição (m);

$C$  = Fator de correção - 0,8 para rios com fundo pedregoso e 0,9 para rios com fundo barrento;

$T$  = Tempo que o flutuador leva para deslocar-se no comprimento adotado (s).

Conforme ANEEL (2001 apud LUDWIG, 2016) há ainda o método da regionalização de vazões onde é possível estimar a vazão de referência de um curso d'água em função da área de drenagem. Há três formas de cálculo (I, II e III) para obtenção da vazão de referência e são apresentadas pelas Equações 03, 04 e 05, respectivamente, isso se aplica para a Bacia Taquari-Antas.

$$Q_{est I} = 0,0231 \times Ad \quad (03)$$

$$Q_{est II} = 0,0225 \times Ad^{1,003} \quad (04)$$

$$Q_{est III} = 0,0086 \times Ad^{1,004} \times Pa^{1,783} \quad (05)$$

Onde:

$Q_{est (I, II e III)}$  = Vazão de referência ( $m^3/s$ );

$Ad$  = Área de drenagem ( $Km^2$ );

$Pa$  = Precipitação anual do local (m).

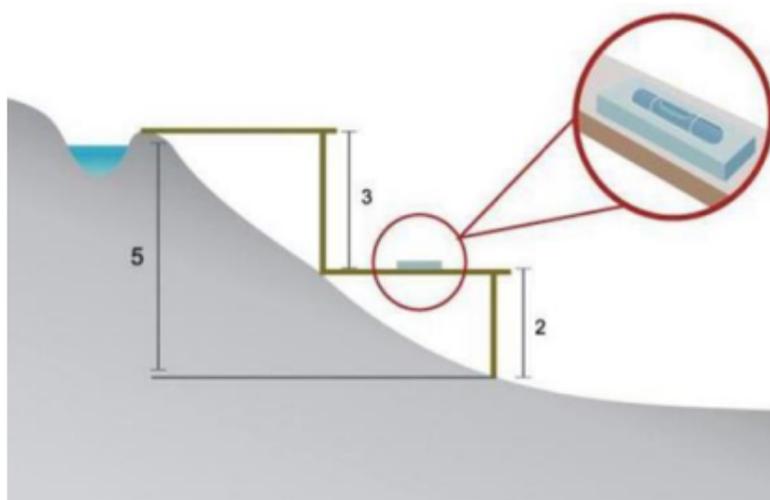
Para determinação da área de drenagem se utilizam ferramentas de medição do *Google Maps*. Para a precipitação anual se consulta informações de estações meteorológicas locais.

### 2.4.3 Métodos para medição da Altura de Queda

Há várias maneiras de calcularmos a altura de queda, também chamado de desnível, entre eles: por meio de aplicativos, por topógrafos, com mangueiras de nível, de forma manual, entre outros. A contratação de um profissional especializado (topógrafo) constitui a solução mais prática e assertiva, mas também a mais cara.

Uma maneira barata e fácil de se medir é através do nível de pedreiro, onde coloca-se um objeto reto na posição vertical e outra na posição horizontal, de maneira a fazer o encontro das dos dois objetos e de modo a ficarem sempre no nível. Faz-se em diversas etapas e ao final faz-se a somatória dos valores das alturas encontradas (ELETROBRÁS, 1985). A Figura 8 demonstra este procedimento.

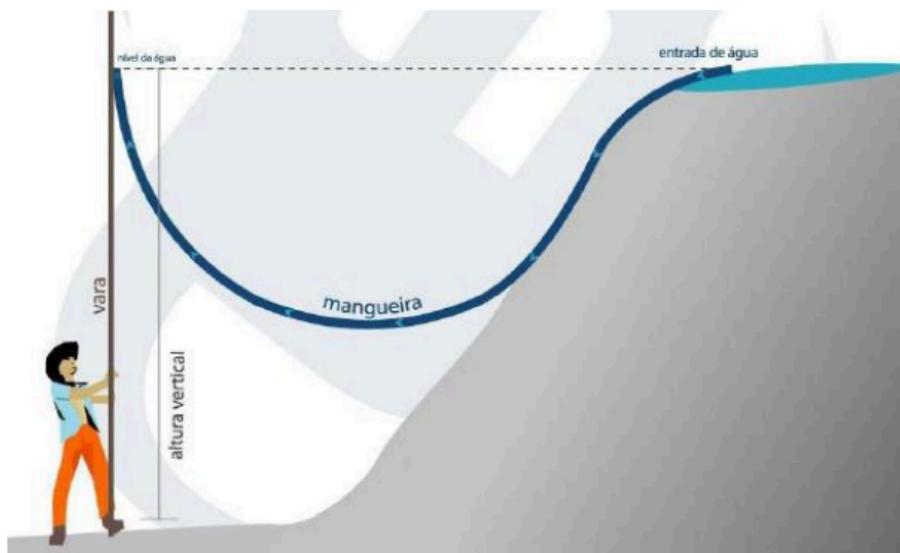
Figura 8 - Método do nível de pedreiro para medição de altura de queda



Fonte: Alterima (2021 apud Rubik 2021).

Outro método para medição da altura de queda, é através da mangueira de nível. Posiciona-se uma ponta da mangueira no início da entrada de água e a outra no ponto de referência que se deseja medir a altura, pode-se utilizar como auxílio uma madeira/vara a fim de erguer até a posição de nivelamento, fazendo com que se crie uma linha imaginária horizontal. Com auxílio de uma trena mede-se a diferença entre as alturas desta linha imaginária e o ponto zero, medida que resultará na altura da queda (SOUSA et al., 2002). A Figura 9 demonstra este procedimento.

Figura 9 - Método da mangueira de nível para medição de altura de queda



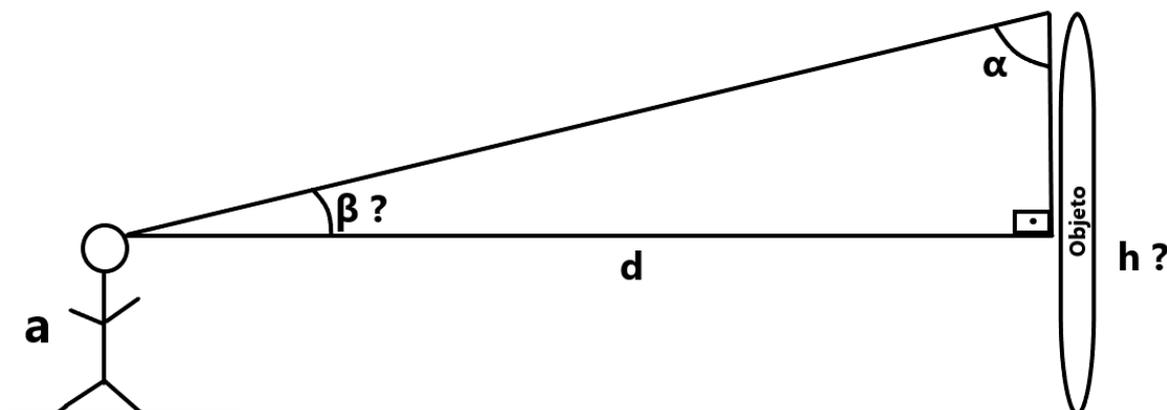
Fonte: Alterima (2021 apud Rubik 2021).

Outra maneira utilizada para a medição é através de nível a laser, dispositivo que quando fixado ao lado da saída de água emite um feixe de luz horizontal até o ponto desejado, permitindo medir a diferença de altura entre este ponto e o final do objeto que se deseja medir (PHILLIP, 2023). Tal método pode ser utilizado para medições de diferentes objetos em diversas situações. Método bem semelhante ao do teodolito caseiro, o qual é uma forma simplificada do teodolito eletrônico, mas que possui a mesma função.

O método teodolito utiliza um transferidor com um canudo, onde o primeiro passo consiste em mirar o canudo no final do objeto que se deseja medir fixando o teodolito e marcando o ângulo demonstrado no transferidor. Após, pega-se a distância entre o ponto em que se ficou até o objeto medido. Com isso, basta aplicar a relação trigonométrica adequada para determinar a altura (SCANDIAN et al., 2012).

Vale ressaltar que se a medida for feita por uma pessoa de pé, deve ser acrescentada ao resultado da medição a altura entre os olhos da pessoa e o chão (a) (NOÉ, 2022). O método pode ser observado na Figura 10 e os cálculos trigonométricos podem ser feitos conforme Equações 06 e 07.

Figura 10 - Método do teodolito para medição de altura de queda



Fonte: Do autor (2024).

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad (06)$$

$$\tan\beta = \frac{h-a}{d} \quad (07)$$

Onde:

$\beta$  = Ângulo de inclinação (°);

$\alpha$  = Ângulo encontrado no transferidor (°);

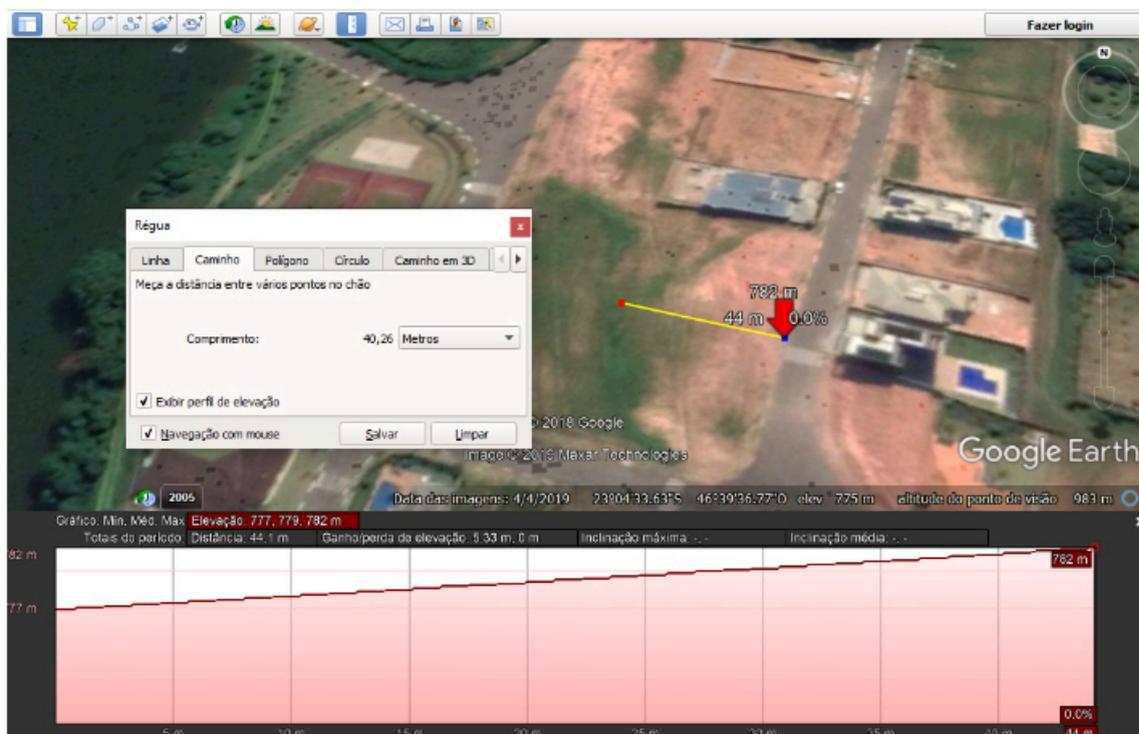
$h$  = Altura de queda (m);

$a$  = Altura da pessoa que está executando o método (m);

$d$  = Distância entre o ponto em que se ficou até o objeto medido (m).

A medição topográfica também se faz de total valia devido a sua praticidade e assertividade. Outra forma é através de aplicativos, como o *Google Earth Pro* (2024), que através da localização geográfica é possível traçar uma linha no trecho que se deseja medir e buscar a opção “exibir perfil de elevação”. Ao fazer isso tem-se a inclinação do terreno com a diferença de altura e também a inclinação em porcentagem. A Figura 11 demonstra a tela do programa com a visualização do perfil.

Figura 11 - Método utilizando aplicativo para medição de altura de queda



Fonte: Dicas de arquitetura (2019).

Vale lembrar que quanto maior o desnível do córrego onde se pretende instalar a geradora, mais energia potencial gravitacional está disponível para ser convertida em energia mecânica, assim mais energia elétrica é gerada. Pode-se utilizar um método ou mais, a fim de comparação de resultados.

#### 2.4.4 Cálculo do Potencial Hidráulico

Através dos dados de vazão e altura de queda obtidos conforme procedimentos demonstrados, é possível encontrar o potencial hidráulico, o qual consiste na capacidade de produção de energia elétrica no objeto de estudo e assim, a verificação da possível implantação da MCH (NUERNBERG et al., 2017). A determinação do potencial de geração hidrelétrica leva em conta algumas variáveis, dentre elas, a gravidade, a vazão, a altura de queda e os rendimentos da turbina e do gerador.

De acordo com Eletrobrás (1985) podemos resumir estas variáveis através da Equação 08, que ajusta os parâmetros, compensando-os, e levando em conta o rendimento dos equipamentos que para um aproveitamento pequeno porte pode-se considerar aproximadamente 77% para turbina e 90% para o gerador. Resumindo-se em um fator de correção de 7,16.

$$P = 7,16 \times H \times Q \quad (08)$$

Onde:

$P$  = Potencial de geração (kW);

$H$  = Altura de queda (m);

$Q$  = Vazão estipulada (m<sup>3</sup>/s).

#### 2.4.5 Seleção do conjunto Turbina Gerador

Com tais parâmetros determinados é possível fazer a escolha do conjunto de turbina-gerador. Viu-se anteriormente que há vários modelos e tipo de turbinas e geradores no mercado, mas que atendem, na maioria, grandes fluxos. Diante disto, busca-se equipamentos alternativos que atendam às micro e pequenas geradoras e que sejam econômicos.

Visto que o sistema irá atender pequenas propriedades e que muitas vezes são isoladas, a escolha das turbinas e geradores deve levar em consideração alguns aspectos, como: simplicidade do equipamento, facilidade de operação e manutenção e baixo custo.

Conforme Nuernberg et al. (2017), já há fabricantes que oferecem alternativas mais simples e econômicas. Como exemplo, o conjunto da empresa WEG (2019), chamado de sistema *skid*. Os componentes da turbina e do gerador são montados em cima de uma base única tornando a unidade geradora mais compacta reduzindo tamanho da casa de força e comprimento do conjunto, além de ter menor custo de implantação.

Já o fabricante Hidreo lançou um conjunto de turbina hidrelétrica bem compacto e que pode gerar energia tanto no modelo *On-Grid*, injetando energia junto à rede da concessionária ou *Off-Grid* quando a intenção é gerar de maneira

isolada. O equipamento atende baixas quedas, entre 2,5m e 5m e vazões variadas (HIDREO, 2024). Os fabricantes também disponibilizam as informações técnicas para projeto e dimensionamento.

Para o dimensionamento do inversor da MCH, quando necessário, levam-se como base os cálculos de sistemas fotovoltaicos. Primeiramente, deve-se escolher o tipo de turbina que será utilizada, levando em contas os pontos supracitados, para assim se ter a potência nominal e também, a quantidade de equipamentos (LUKACHESKI, 2021). Com o equipamento determinado, é necessário calcular a potência em watt-pico, a qual relaciona a potência nominal com a eficiência da turbina, conforme Equação 09 (VALUATA, 2024).

$$W.pico = PN \times Efi. \quad (09)$$

Onde:

$W.pico$  = Potência em watt-pico (Wp);

$PN$  = Potência nominal da turbina (W);

$Efi.$  = Eficiência da turbina (%).

Com isso, através da observação dos modelos de inversores disponíveis no mercado, bem como a verificação de sua potência de saída e a corrente que o dispositivo suporta, é possível escolher qual se adequa melhor à turbina geradora escolhida. Após, é possível encontrar o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI), o qual relaciona a potência de saída do inversor com a potência de pico do gerador, conforme Equação 10 (GUANABARA, 2020).

$$FDI = \frac{Ps,inv.}{Pp,ger.} \quad (10)$$

Onde:

$FDI$  = Fator de dimensionamento do inversor;

$Ps,inv.$  = Potência de saída do inversor (W);

$Pp,ger.$  = Potência de pico do gerador (Wp) .

O FDI mede quanto o inversor está subdimensionado ou superdimensionado em relação ao gerador, o valor ideal tecnicamente e economicamente é em torno de 0,8 (MAIA, 2020). Esse valor abaixo de 1, quer dizer que o gerador está superdimensionado em relação ao inversor, isso possibilita maior eficiência e desempenho do inversor, pois na maioria das vezes a turbina não trabalha com sua potência nominal máxima (GUANABARA, 2020).

Também se fez necessário o dimensionamento das baterias, onde inicialmente é preciso encontrar a energia consumida diariamente no objeto de estudo. Para isso leva-se em conta a potência, a quantidade e o tempo de uso diário de cada equipamento, para assim encontrar o consumo em Watt hora/dia. Após, aplica-se um fator de correção, sendo o produto entre o rendimento do inversor e da bateria escolhida, com isso, tem-se o consumo diário corrigido (EGS, 2021). Então se calcula a capacidade do banco de baterias, que se dá conforme Equação 11, onde o tempo de autonomia é o tempo que a bateria aguenta manter o sistema funcionando e é definida conforme necessidade do sistema, por exemplo, se for adotada que a bateria precisa atender meio dia utiliza-se 0,5.

$$CBB = \frac{CC \times TA}{PF} \quad (11)$$

Onde:

$CBB$  = Capacidade do banco de baterias (Wh);

$CC$  = Consumo diário corrigido (Wh);

$TA$  = Tempo de autonomia;

$PF$  = Profundidade de descarga (%).

A profundidade de descarga é até quanto a bateria deve ser descarregada antes que volte a ser carregada novamente, os fabricantes sugerem uma profundidade de 30%, para prezar pela vida útil do equipamento (VILLALVA et al., 2012). A capacidade da bateria é geralmente especificada o em ampere hora (Ah), então faz-se a transformação de unidade para facilitar a comparação (EGS, 2021). Tal transformação se dá conforme Equação 12.

$$CBB = \frac{CBB (Wh)}{V} \quad (12)$$

Onde:

$CBB$  = Capacidade do banco de baterias (Ah);

$CBB$  = Capacidade do banco de baterias (Wh);

$V$  = Tensão do banco de baterias (V).

Com a capacidade definida, parte-se para determinação da quantidade de baterias, ligadas em série. Para isso, se escolhe um modelo de bateria com que se deseja trabalhar e se aplica a Equação 13.

$$QB = \frac{CBB}{CB} \quad (13)$$

Onde:

$QB$  = Quantidade de baterias (un);

$CBB$  = Capacidade do banco de baterias (Ah);

$CB$  = Capacidade de uma bateria (Ah).

## 2.5 ANÁLISE FINANCEIRA DO PROJETO

Para verificação da viabilidade da implantação de uma microgeradora é preciso analisar a parte financeira do projeto também. Um comparativo entre os gastos necessários para implantação e manutenção versus a redução na fatura de energia elétrica é uma maneira de se analisar tal fator.

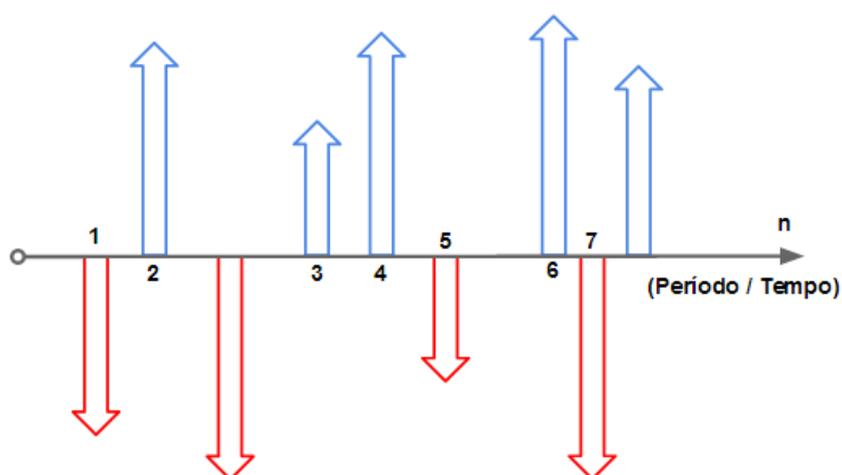
Os custos com obras civis, equipamentos e implantação devem ser estimados. Em relação a custos relacionados a impostos, a ANEEL não cobra impostos. A partir de 2015, com a publicação do Convênio ICMS 16 (CONFAZ, 2015), ficou autorizado a isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, com o ICMS incidindo somente sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede no mês. O mesmo ocorre com o Programa de Integração Social - PIS e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – COFINS. Abaixo são apresentados os conceitos de fluxo de caixa, taxa

mínima de atratividade (TMA), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e tempo de recuperação do capital (Payback).

### 2.5.1 Fluxo de caixa e taxa mínima de atratividade (TMA)

O fluxo de caixa representa a relação do dinheiro gasto e do recebido através da implantação do projeto em um determinado período de tempo (CAIXA, 2023). Para Puccini (2011), o fluxo de caixa é indispensável para estudo da viabilidade financeira e econômica de projetos e investimentos. A Figura 12 representa o fluxo de caixa, onde as setas azuis representam entradas (receitas) e as vermelhas saídas (investimentos, gastos) em relação a um período de tempo (TREASY, 2013).

Figura 12 - Representação Fluxo de Caixa



Fonte: De Paula (2013).

A taxa mínima de atração (TMA) é a taxa de juros que representa o mínimo que o investidor se propõe a ganhar quando aplica seus recursos. Na avaliação de projetos, a TMA é utilizada na comparação com a taxa interna de retorno (TIR) do investimento e como taxa de desconto no cálculo do valor presente líquido (VPL) do fluxo de caixa do investimento (PUCCINI, 2011).

### 2.5.2 Valor presente líquido (VPL)

O VPL consiste em trazer para a data zero todos os fluxos de caixa de um

projeto de investimento e somá-los ao valor do investimento inicial, utiliza-se a TMA como desconto (TREASY, 2013). Quando o valor presente líquido é positivo, é aconselhável investir no projeto, pois indica sua viabilidade econômica, sinalizando que os lucros futuros excedam o investimento inicial, mas se for negativo não é recomendável o investimento (DUARTE, 2018). O VPL pode ser calculado através da Equação 14.

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FCj}{(1+i)^j} - FCo \quad (14)$$

Onde:

$VPL$  = Valor presente líquido;

$FCj$  = Fluxo de caixa no período  $j$ ;

$i$  = Taxa de juros (TMA em %);

$j$  = Período do fluxo de caixa;

$FCo$  = Fluxo de caixa no período 0, ou seja, investimento inicial.

Há a possibilidade da análise do valor presente (VP) que equivale ao montante atual e é utilizado para saber o valor real da importância no momento em que a análise está sendo feita. Com este parâmetro é possível relacionar o investimento considerando o fluxo de caixa futuro (SIQUEIRA, 2022).

### 2.5.3 Taxa interna de retorno (TIR)

O TIR é a taxa de juros que iguala o VPL a zero, serve para verificar a viabilidade econômica (PUCCINI, 2011). O cálculo da TIR é apresentado na Equação 15.

$$FCo = \sum_{j=1}^n \frac{FCj}{(1+TIR)^j} \quad (15)$$

Onde:

$TIR$  = Taxa interna de retorno;

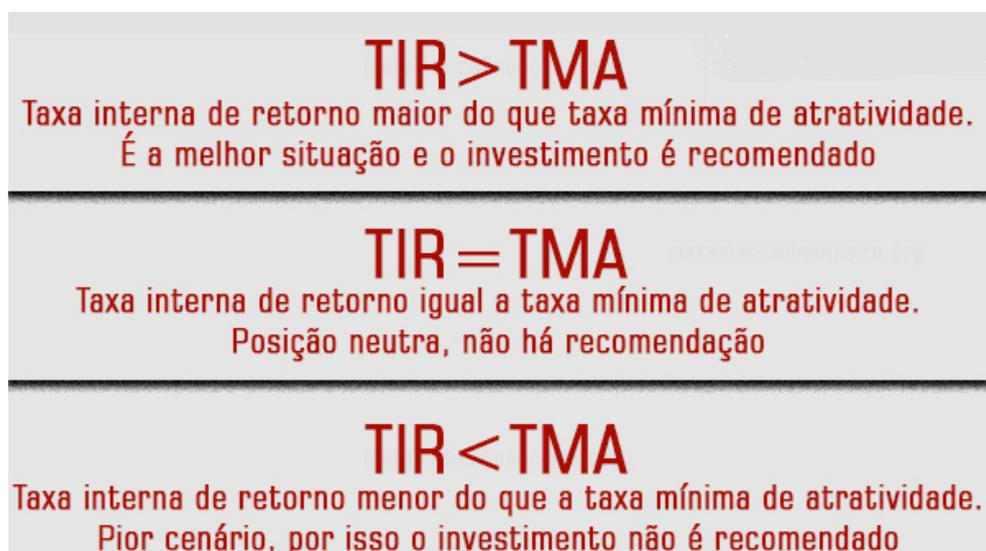
$FCj$  = Fluxo de caixa no período  $j$ ;

$j$  = Período do fluxo de caixa;

$FC_0$  = Fluxo de caixa no período 0, ou seja, investimento inicial.

A Figura 13 representa a interpretação dos resultados obtidos na TIR quando comparada à TMA. Pode-se observar que o projeto se torna viável se a TIR for maior que a TMA.

Figura 13 - Viabilidade do projeto quanto a TIR e TMA



Fonte: Matemática financeira (2020).

#### 2.5.4 Payback descontado

Outro fator a ser analisado economicamente é o do retorno do dinheiro investido ou tempo de recuperação do capital, que mostra em quanto tempo ocorrerá a restituição do capital investido, levando em conta a correção monetária conforme a valorização ou desvalorização da moeda (CONTA AZUL, 2023). O payback é obtido por meio da comparação do valor do investimento inicial com o valor presente de cada parcela futura, descontada uma taxa de juros (PUCCINI, 2011).

#### 2.6 ASPECTOS AMBIENTAIS

Por meio da Resolução nº. 279 de 27 de junho de 2001 do Conselho Nacional

do Meio Ambiente (CONAMA), verificando a necessidade de estabelecer procedimento simplificado para o licenciamento ambiental dos empreendimentos com impacto ambiental de pequeno porte, instituiu o Relatório Ambiental Simplificado (RAS).

O mesmo apresenta estudos dos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento apresentados como subsídio para a concessão da licença prévia requerida. O órgão ambiental competente definirá com base no RAS, o enquadramento do empreendimento elétrico no procedimento de licenciamento ambiental simplificado mediante decisão fundamentada em parecer técnico. Para o presente estudo seria aplicável a solicitação simplificada.

Traz-se um exemplo do estado de Santa Catarina, onde para obtenção do licenciamento ambiental é necessária a execução de estudos, os quais variam de acordo com o porte das centrais geradoras. Segundo o IMA (2019), em sua instrução normativa número 44, há três classificações em geral:

- Licenciamento simplificado: Para Potência instalada  $\leq 10$  MW;
- Licenciamento trifásico: Para Potência instalada  $\leq 10$  MW se área alagada  $\geq 100$  Ha;
- Dispensa de Estudo Ambiental: Para Potência instalada  $< 0,075$  MW.

Para o sistema simplificado é necessário realizar apenas o Estudo Ambiental Simplificado (EAS), previsto na Lei 14.675/2009 e Resolução CONSEMA n° 98/2017. Por meio da Autorização Ambiental (AuA) se aprova a localização e concepção do empreendimento, bem como sua implantação e operação de acordo com os controles ambientais aplicáveis a serem definidos pelo órgão ambiental licenciador (IMA, 2019). Possui prazo de validade de até quatro anos.

Já para o sistema completo deve-se fazer o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Os mesmos devem iniciar pela Licença Ambiental Prévia (LAP) que aprova a localização e concepção, valida a viabilidade ambiental e estabelece os requisitos básicos e condicionantes a serem cumpridos nas fases subsequentes de implementação. Após, a Licença Ambiental de Instalação (LAI) que permite o início da execução das obras e sempre cumprindo

com as obrigações relacionadas ao meio ambiente. Por fim, a Licença Ambiental de Operação (LAO) que autoriza a operação da atividade ou empreendimento após a verificação efetiva do cumprimento das condições estabelecidas nas licenças anteriores, incluindo as medidas de controle ambiental e os condicionantes determinados para a fase de operação. Com prazo de validade de no mínimo quatro e no máximo de dez anos. Para os sistemas com Potência instalada menor que 0,075 MW dispensa-se a apresentação de estudo ambiental, sendo o licenciamento através de Autorização Ambiental (AuA).

## 2.7 TRABALHOS CORRELATOS

Para se obter um bom trabalho ou pesquisa, se faz necessário basear-se em outras opiniões e dissertações relacionadas ao assunto. Tendo em vista isso, analisou-se alguns trabalhos voltados à área da microgeração.

Lima et al. (2019), vislumbra cada vez mais a utilização de energia elétrica, mas não qualquer energia, tal que seja produzida de forma limpa e sustentável. Os autores concluíram que até o setor elétrico brasileiro chegar nos moldes de hoje, passou por várias alterações, desde um monopólio total, até a obrigatoriedade de abrir este campo para empresas privadas e que a criação da ANEEL, foi um marco para regularização de todo setor. A partir do incentivo da agência em ampliar a geração em pequenas usinas e centros urbanos isolados, ou regiões rurais, se busca produzir energia mais barata, visto que há mais competitividade. Assim, fez um estudo a fim de obter a implantação de uma micro central hidrelétrica, a partir de uma roda d'água, em córregos ou riachos com baixa correnteza. O estudo buscou a criação de uma roda d'água, a qual utilizaram materiais recicláveis para construí-la, após foi conectada ao gerador por meio de correias, acionada por uma represa na propriedade. Os mesmos concluem que é importante o incentivo e as leis impostas, a fim de tornar o projeto viável e proporcionar que os consumidores se mantenham na busca por alternativas de menores preços, para assim, manter a competitividade no setor e conseqüentemente a qualidade.

Já Palombit (2019) propôs analisar a viabilidade técnica de instalação de um conjunto gerador hidráulico em um riacho no Oeste Catarinense, bem como a viabilidade econômica e o retorno do capital investido. Fez a análise através do

métodos de *Payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), a fim de determinar a atratividade do investimento. No trabalho foram analisados dois cenários, o primeiro analisou-se o preço do kWh acrescido da inflação histórica de tal valor, bem como o custo de manutenção anual equivale a 2,5% do investimento inicial. Já no segundo, foi considerado os incentivos à geração de energias renováveis por parte do governo, além de isenções de impostos para tais modelos, em ambos cenários a atratividade econômica foi confirmada. O projeto também permitiu estimar uma geração de 3.816 kWh por mês, o que representa aproximadamente R\$1.600,00 em energia elétrica para a propriedade (POLOMBIT, 2019).

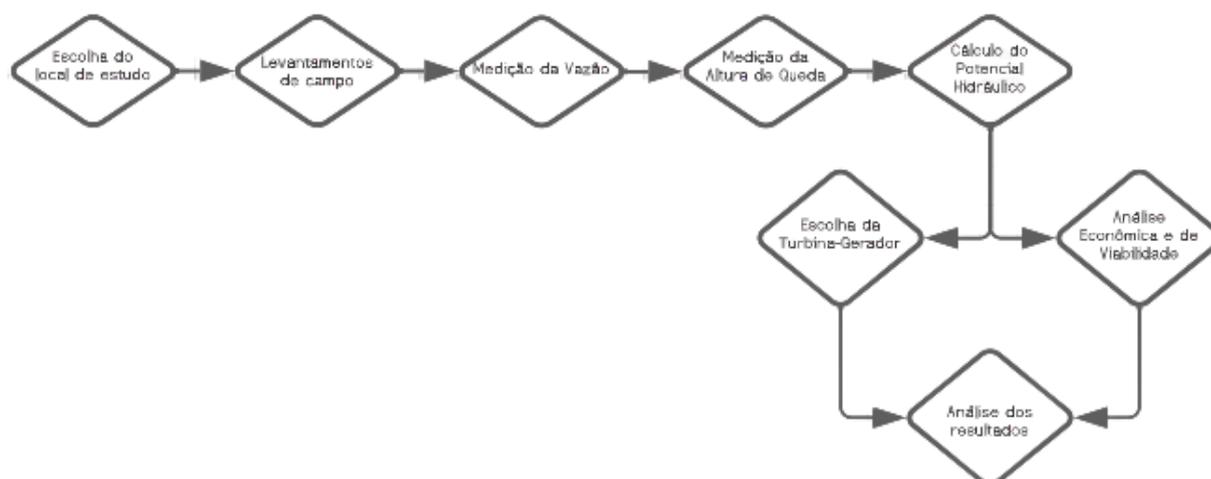
Alves (2007), em seu estudo, demonstra a viabilidade econômica da implantação de uma microcentral hidrelétrica em regiões isoladas, como uma alternativa energética para consumidores não atendidos pela energia elétrica convencional. O mesmo mostra que o retorno do investimento inicial se dá em até 50 meses, levando em consideração que a vida útil dos equipamentos da microcentral hidrelétrica é de 20 anos, o restante do tempo só se tem a gastos com manutenção dos equipamentos e da linha de transmissão.

Corrêa (2019), considerou 25 anos de vida útil do equipamento e fez uma projeção do retorno, o qual verificou que é de aproximadamente 4 anos, assim pode afirmar a viabilidade da microcentral. Rubik (2021), avaliou tecnicamente e economicamente a viabilidade da implantação de uma microcentral hidrelétrica em uma propriedade rural e verificou que o projeto demanda alto investimento e por isso, deve-se observar com atenção o potencial hidráulico disponível, pois será ele que dará a certeza ou não na tomada de decisão da implantação do sistema.

### 3 METODOLOGIA

O presente capítulo demonstra a maneira como foram executados os passos do trabalho, a fim de se chegar aos objetivos propostos. A metodologia adotada se baseou nos conceitos e procedimentos demonstrados na revisão bibliográfica, sendo que de primeiro momento, fez-se pesquisas em artigos, teses, dissertações, livros, entre outros, relacionadas ao tema e suas áreas correlatas. O fluxograma da Figura 14 demonstra as etapas realizadas.

Figura 14 - Fluxograma das etapas do estudo



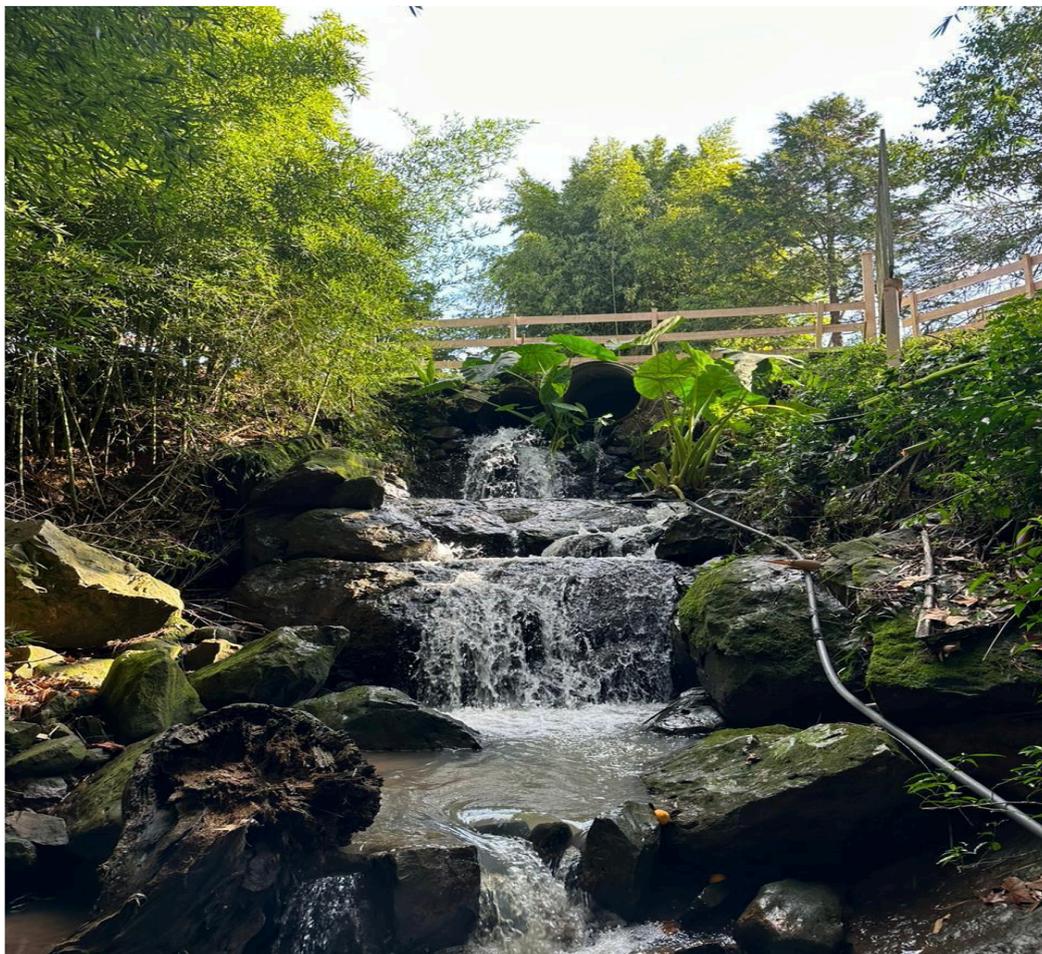
Fonte: Do autor (2024).

#### 3.1 ESCOLHA DO LOCAL E DEFINIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento do trabalho se escolheu uma propriedade privada no interior do município de Bento Gonçalves/RS, com potenciais características específicas para implantação de uma MCH. Possui curso de água com declive considerável, tem fácil acesso, o proprietário liberou a área para o estudo e o mesmo tem interesse em formas de gerar sua própria energia.

O município está inserido na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, a qual é muito rica, possui nascentes, rios, córregos e cursos, o que torna o local favorável ao beneficiamento hídrico. A Figura 15 demonstra a vista geral do local de estudo escolhido.

Figura 15 - Vista geral do local de estudo escolhido



Fonte: Do autor (2024).

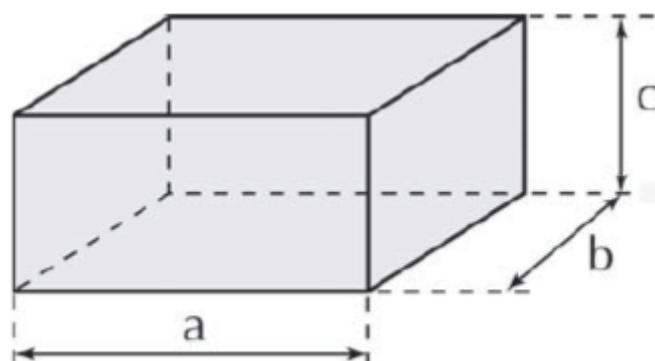
### 3.2 MEDIÇÃO DA VAZÃO

Para os estudos básicos a fim de calcular o potencial de geração do objeto de estudo foi necessário, inicialmente, realizar a medição da vazão do curso d'água, a qual se deu através do método volumétrico, demonstrado no item 2.4.2. Devido ao local ter um pequeno curso de água, se consegue coletar toda a água disponível e medir de forma eficaz a vazão.

Para o método volumétrico foi necessário medir inicialmente o tempo de enchimento de um recipiente. Utilizou-se como recipiente uma caixa plástica com medidas conhecidas, onde fez-se o produto do comprimento pela largura e pela altura e após fez-se as transformações de unidade, chegando na medida do recipiente. As incógnitas para cálculo do volume são mostrados na Figura 16 e a

fórmula utilizada na Equação 16.

Figura 16 - Método de medição do volume do recipiente



Fonte: Casa da matemática (2018).

$$V = a \times b \times c \quad (16)$$

Onde:

$V$  = Volume do recipiente ( $m^3$ );

$a$  = Comprimento (m);

$b$  = Largura (m);

$c$  = Altura (m).

Fez-se a medição do volume do recipiente seguindo a Equação 16 e obteve-se que o mesmo tem volume de 42 litros ( $0,0429 m^3$ ), o mesmo foi posicionado na saída da água, na qual possui um bueiro de concreto já existente, que canaliza toda a água para o mesmo ponto, fazendo com que se colete todo o recurso disponível sem perdas. O posicionamento do recipiente foi feito de forma manual e contou com auxílio de uma segunda pessoa para fotografar e marcar o tempo de enchimento por meio de um cronômetro de um dispositivo móvel. Os materiais utilizados para a medição são demonstrados na Figura 17.

Figura 17 - Materiais utilizados na medição da vazão



Fonte: Do autor (2024).

Foram realizadas dez medições do tempo de enchimento do recipiente em cada uma das visitas, durante quatro meses, sendo que no último mês (junho) foram apenas duas visitas devido ao tempo que se tinha para realizar o estudo. As medições foram realizadas em horários diferentes do dia, os quais são apresentados nos resultados.

As medições ocorrem em vários períodos para se ter maior precisão e ajustes quanto aos desvios, pois a vazão pode mudar dependendo da estação do ano em que se está, a partir das variações das condições climáticas. Com estas dez medições fez-se uma média aritmética para cada visita. Utilizou-se planilhas para marcação dos dados coletados.

A partir destas informações fez-se uma nova média aritmética geral dos meses em que foram feitas as medições, a fim de compilar todas as informações e se chegar no tempo médio definitivo de enchimento do recipiente. Com o tempo médio definido e o volume do recipiente conhecido, aplicou-se a Equação 01, a fim de determinar a vazão do córrego. Após, foi possível seguir para a determinação da altura de queda do córrego.

### 3.3 MEDIÇÃO DA ALTURA DE QUEDA

Outra variável necessária para o cálculo do potencial é a altura de queda d'água. O trecho do córrego escolhido foi o de maior declividade nos arredores da residência. Por ser um córrego de pequeno porte, adotou-se o método do nível a laser digital e o método do teodolito para medição da altura de queda, a fim de comparar os resultados e se ter maior certeza e precisão quanto aos resultados. Os procedimentos foram demonstrados no item 2.4.3.

Para o método do nível a laser foram seguidos alguns passos para se chegar na medida final, os quais contaram com o auxílio de outra pessoa para realizá-los. A técnica necessitou ser feita a noite visto que facilitava a visualização do feixe de luz emitido pelo aparelho.

Inicialmente, se posicionou o nível a laser no local da saída da água (montante) buscando mirar o cruzamento do feixe de luz horizontal e vertical (exemplificado pela Figura 18) em algo fixo, no caso uma árvore, no final do trecho analisado (jusante), após foi feita uma marcação deste ponto com o auxílio de uma escada.

Figura 18 - Exemplificação do método do nível a laser



Fonte: De maquinas e herramientas (2023).

Então, utilizou-se uma trena para medir a distância entre esta marcação e o curso d'água, a qual demonstra o desnível entre os dois pontos, a montante e

jusante, chegando-se na altura de queda. Para validação da medida foi aplicado também o método do teodolito, o qual já se possuía não sendo necessário construí-lo.

Para iniciar o método posicionou-se no final do trecho de análise (jusante), mesmo local em que foi feita a marcação no método do nível a laser, mirou-se o canudo na saída de água (montante) e marcou-se o ângulo demonstrado no transferidor. Após, aplicou-se a relação trigonometria demonstrada nas Equações 06 e 07 e se chegou a altura de queda do córrego.

### 3.4 CÁLCULO DO POTENCIAL HIDRÁULICO

Com as duas variáveis definidas, vazão e altura de queda, foi calculado por meio da Equação 08, o potencial hidráulico que a MCH teria, se implantada. Neste caso, para o cálculo do potencial multiplica-se pelo fator de 7,16 por ser um aproveitamento de pequeno porte. Foi calculado o potencial de geração médio total levando em consideração a média da vazão de todos os meses e também, foi calculado mês a mês a fim de visualizar os períodos em que se tem mais energia gerada e comparar se nas estações mais chuvosas se tem maior geração por se ter um aumento da vazão.

Tal fator é calculado em kW porém, a medida usual em faturas de energia é o kWh que é a representação da energia consumida, ou seja, a geração multiplicada pelo tempo de uso (PALOMBIT, 2019). Se fará esta conversão de unidade a fim de analisar a quantia economizada mensalmente na fatura de energia da residência onde se deu o estudo da implantação do sistema de microgeração.

### 3.5 ESCOLHA DO CONJUNTO TURBINA GERADOR

A escolha do conjunto de geração teve como determinante as variáveis de vazão e altura de queda medidos no local, foi necessário que se adequasse a pequenas e variáveis vazões. Para a escolha observou-se catálogos de fornecedores e foi levado em consideração modelos já disponíveis no mercado, que fossem compactos, com custo baixo, que se encaixasse para a situação em específico, com bom rendimento e acessível.

Através da análise das opções de conjunto de turbina gerador disponíveis no mercado, observou-se que o equipamento da empresa Hidreo se encaixa nas características e na situação desejada. O equipamento é a Hidreo® Mini Baixa Queda, o qual funciona em baixas quedas, com vazões variadas e pode gerar até 220 kWh/mês. Vale ressaltar que por não se ter uma vazão alta, a turbina irá funcionar com capacidade de geração reduzida. As características técnicas do equipamento podem ser observadas no Anexo A.

Ela funciona com o mesmo princípio da turbina Kaplan, onde a água passa por dentro da tubulação e faz a hélice rotacionar. A Figura 19 mostra um esquema deste tipo de turbina e seus componentes.

Figura 19 - Turbina Hidreo mini baixa queda



Fonte: Hidreo (2024).

Conforme o fabricante, o conjunto pode operar em até 300 W de potência nominal, que é capacidade do equipamento transformar a energia gerada no córrego em energia para consumo, sendo que pode haver uma perda nas tubulações. Ainda segundo o fabricante, a captação de água pode ser feita diretamente no leito do rio, sem a necessidade de represamento (fio d'água). A água é captada diretamente por uma tubulação 150mm no trecho a montante e conduzida até a máquina através de

tubulações. Com o movimento da água passando por dentro faz com que a hélice gire e transmita pelo eixo até o gerador, transformando em energia elétrica (HIDREO, 2024). Vale ressaltar que a água é totalmente devolvida ao córrego no final do processo. A Figura 20 demonstra o exemplo de um sistema instalado.

Figura 20 - Turbina Hidreo mini baixa queda



Fonte: Adaptado de Hidreo (2024).

Por não se ter uma geração considerável, é mais viável o uso do sistema *Off-grid*, o qual não é conectado na rede da concessionária, sendo a energia produzida diretamente para o consumo da residência. As ligações elétricas se dão em um painel de controle, onde possui um controlador de carga que é responsável por controlar a carga que alimentam os equipamentos e também as cargas de entrada e saída das baterias, garantindo a proteção e aumento da vida útil do sistema. O controlador já é fornecido junto ao sistema.

Este dispositivo é fundamental, visto que tem vazões muito variáveis. O controlador trabalha no armazenamento do banco de baterias, as quais não possuem fonte ligada na rede da concessionária, servindo apenas para o armazenamento da quantidade excedente. Então, nos períodos em que o sistema está suprindo o abastecimento é feito a carga das baterias, para assim conseguir atender nos momentos de pouca vazão e conseqüentemente, pouca geração.

O gerador que compõem o sistema da marca vem acompanhado de um módulo retificador e um controlador de carga, após passar por estes componentes, a energia é enviada para um inversor que transforma-a para corrente alternada, em 220V monofásica/bifásica ou trifásica, a qual é utilizada na residência. O inversor é *Off-grid*, o qual não permite a devolução da carga para a rede em caso de maior geração. A ligação do inversor com as baterias é feita através de dois condutores 2,5 mm<sup>2</sup> e um disjuntor bipolar CC de 16A.

### 3.6 ANÁLISE FINANCEIRA

Com as etapas supracitadas realizadas verificou-se a viabilidade de implantação da MCH, onde analisou-se os custos de investimentos (saídas) que se teve com a implantação, operação e manutenção do sistema, em conjunto com os custos de entrada, que seria a redução do consumo da energia elétrica da concessionária. A análise financeira compreende o equilíbrio entre as saídas e entradas ao longo da vida útil.

Para o custo de implantação considerou-se custos de materiais e mão de obra para: Instalações elétricas, hidrossanitárias e conjunto turbina/gerador. O custo do conjunto turbina gerador foi obtido com a própria empresa que faz a venda do produto, já a parte das instalações, tubulações e demais itens gerais se basearam em cotações de mercado da cidade em que o objeto está inserido, onde pesquisou-se em loja de eletromotores e de materiais de construção, além de valores de sites da internet. Os custos também levaram como base a bibliografia de estudos já realizados e vale ressaltar que os custos são estimados e aproximados, podendo sofrer variação.

Teve-se como base o demonstrado no item 2.5 para o desenvolvimento da análise e se contou com o auxílio de funções do *Software Excel* (2024), onde se calculou o fluxo de caixa, a taxa mínima de atratividade, o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e o payback descontado. Para a receita da MCH se utilizou o fator de correção de 5,7% que é o crescimento anual estimado da tarifa de energia.

A análise financeira levou em consideração a bandeira tarifária do mês de abril de 2024 para a cidade do estudo, onde para a tarifa da unidade consumidora residencial rural está em R\$0,71956 kWh, valor que engloba a Tarifa de uso do

sistema de distribuição (TUSD) e Tarifa de Energia (TE), onde os preços são fixados anualmente pela ANEEL e não possuem os tributos inclusos (PIS/PASEP, COFINS, ICMS e CIP). No referido mês tem-se como bandeira vigente a verde, onde a tarifa não sofre nenhum acréscimo (CPFL, 2024).

Se for considerado os tributos tem-se um novo valor, o qual varia de acordo com as alíquotas vigentes, que são contribuições exigidas pela União. No mês de análise tem-se a alíquota de 1,37% para PIS/PASEP, de 6,35% para COFINS sobre o total consumido e 12% para ICMS para produtor rural (caso do estudo) que tem um consumo até 100 kWh, passando deste consumo o cliente fica isento desta tarifa (CPFL, 2024). Já o CIP é variável de acordo com o município, em Bento Gonçalves, a alíquota está em torno de 6%. Então, o valor final considerando todos os tributos supracitados aumenta para R\$0,90463 kWh aproximadamente.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

No presente capítulo se apresentam os resultados obtidos e análises feitas referente ao estudo da implantação da MCH. Primeiramente, apresentam-se todos os resultados quantitativos obtidos nas medições da vazão, da altura de queda e do potencial hidráulico.

O cálculo do potencial se dá de maneira que se possa verificar a quantidade de energia que a microcentral iria produzir, caso implantada. Após, determina-se o conjunto de turbina e gerador e por fim, é apresentado os dados de investimento e a análise da viabilidade financeira do objeto em questão.

### 4.1 VAZÃO

Para a medição da vazão utilizou-se o método volumétrico através dos procedimentos descritos na seção 3.2. A Figura 21 demonstra o primeiro passo da execução do método volumétrico que consiste na marcação do tempo de enchimento do recipiente, o qual foi realizado para cada uma das medições.

Figura 21 - Procedimento de medição dos tempos de enchimento do recipiente



Fonte: Do autor (2024).

Foram feitas medições durante quatro meses. Em cada medição realizou-se dez repetições, conforme demonstrado nos Quadros 1, 2, 3 e 4 para os meses de março, abril, maio e junho, respectivamente.

Quadro 1 - Tomadas de tempo de enchimento do recipiente: Mês de março

<b>MARÇO</b>			
	Medições	Tempo de enchimento do recipiente (s)	Observações
11/03	1	15,03	Sem precipitações durante o dia, medição às 17:30h.
	2	14,31	
	3	15,95	
	4	15,06	
	5	15,03	
	6	15,26	
	7	16,10	
	8	15,64	
	9	15,66	
	10	15,15	
	<b>Média (s)</b>	<b>15,32</b>	
	Medições	Tempo de enchimento do recipiente (s)	Observações
25/03	1	16,36	Sem precipitações durante o dia, medição às 17h.
	2	15,90	
	3	15,88	
	4	16,01	
	5	15,86	
	6	15,93	
	7	16,01	
	8	15,85	
	9	15,90	
	10	15,89	
	<b>Média (s)</b>	<b>15,90</b>	

Fonte: Do autor (2024).

Quadro 2 - Tomadas de tempo de enchimento do recipiente: Mês de abril

(continua)

<b>ABRIL</b>			
01/04	Medições	Tempo de enchimento do recipiente (s)	Observações
	1	10,36	Precipitação intermediária acontecendo durante a medição, medição às 18h.
	2	10,90	
	3	10,88	
	4	11,01	
	5	10,86	
	6	10,93	
	7	11,01	
	8	10,85	
	9	10,90	
	10	10,89	
<b>Média (s)</b>		<b>10,90</b>	
12/04	Medições	Tempo de enchimento do recipiente (s)	Observações
	1	8,69	Precipitação intermediária aconteceu durante a noite anterior e também no dia da medição, medição às 13h.
	2	8,73	
	3	8,70	
	4	8,71	
	5	8,69	
	6	8,65	
	7	8,66	
	8	8,70	
	9	8,69	
	10	8,71	
<b>Média (s)</b>		<b>8,70</b>	
22/04	Medições	Tempo de enchimento do recipiente (s)	Observações
	1	14,90	
	2	14,95	

(conclusão)

22/04	3	15,01	Sem precipitações durante o dia, medição 7:30h.
	4	14,99	
	5	14,95	
	6	14,94	
	7	14,90	
	8	14,96	
	9	14,99	
	10	14,97	
<b>Média (s)</b>		<b>14,96</b>	

Fonte: Do autor (2024).

Quadro 3 - Tomadas de tempo de enchimento do recipiente: Mês de maio

(continua)

<b>MAIO</b>			
	Medições	Tempo de enchimento do recipiente (s)	Observações
15/05	1	2,98	Sem precipitações durante o dia, medição às 8h. Vazão está bem elevada devido às precipitações constantes.
	2	3,00	
	3	2,89	
	4	2,92	
	5	2,93	
	6	2,95	
	7	2,95	
	8	2,99	
	9	3,00	
	10	2,98	
<b>Média (s)</b>		<b>2,97</b>	
	Medições	Tempo de enchimento do recipiente (s)	Observações
24/05	1	3,02	
	2	3,02	
	3	3,04	

(conclusão)

24/05	4	3,01	Precipitações elevadas no dia anterior e leves durante o dia, medição 12h. Vazão está bem elevada devido às precipitações constantes.
	5	3,00	
	6	3,01	
	7	3,04	
	8	3,03	
	9	3,03	
	10	3,02	
<b>Média (s)</b>		<b>3,02</b>	
27/05	Medições	Tempo de enchimento do recipiente (s)	Observações
	1	10,10	Precipitações leves durante a noite anterior, medição 7:30h.
	2	10,08	
	3	10,08	
	4	10,09	
	5	10,10	
	6	10,09	
	7	10,08	
	8	10,08	
	9	10,09	
	10	10,08	
<b>Média (s)</b>		<b>10,09</b>	

Fonte: Do autor (2024).

Quadro 4 - Tomadas de tempo de enchimento do recipiente: Mês de junho

(continua)

<b>JUNHO</b>			
03/06	Medições	Tempo de enchimento do recipiente (s)	Observações
	1	11,31	
	2	11,30	
	3	11,31	
	4	11,29	

(conclusão)

03/06	5	11,30	Sem precipitações durante o dia anterior, medição 08h.
	6	11,31	
	7	11,32	
	8	11,31	
	9	11,30	
	10	11,30	
<b>Média (s)</b>		<b>11,31</b>	
12/06	Medições	Tempo de enchimento do recipiente (s)	Observações
	1	10,97	Sem precipitações durante o dia, medição 18h.
	2	10,99	
	3	10,99	
	4	11,00	
	5	10,99	
	6	10,98	
	7	10,99	
	8	11,00	
	9	10,99	
	10	11,00	
<b>Média (s)</b>		<b>10,99</b>	

Fonte: Do autor (2024).

Devido às condições climáticas apresentadas em todo estado nos meses das medições da vazão, com muitas precipitações, não foi possível realizar as medições conforme inicialmente planejado, foram necessários alguns ajustes nas datas, a fim de conseguir o maior número de medidas possíveis. Neste caso, foi desconsiderado a medição feita no mês de maio, visto que fica fora da curva estatística dos demais dados. Com isso, foi possível obter uma média final do tempo de enchimento do recipiente nos demais meses de análise que foi de 12,76 segundos, conforme demonstrado no Quadro 5.

Quadro 5 - Média final do tempo de enchimento do recipiente

<b>MESES DAS MEDIÇÕES</b>	<b>MÉDIA</b>
MARÇO	15,61
ABRIL	11,52
JUNHO	11,15
<b>MÉDIA FINAL (s)</b>	<b>12,76</b>

Fonte: Do autor (2024).

Após, aplicou-se a Equação 01 para encontrar a vazão do córrego pelo método volumétrico, que relaciona o volume do recipiente utilizado e a média dos tempos. Utiliza-se as unidades de vazão em metro cúbico e de tempo em segundos.

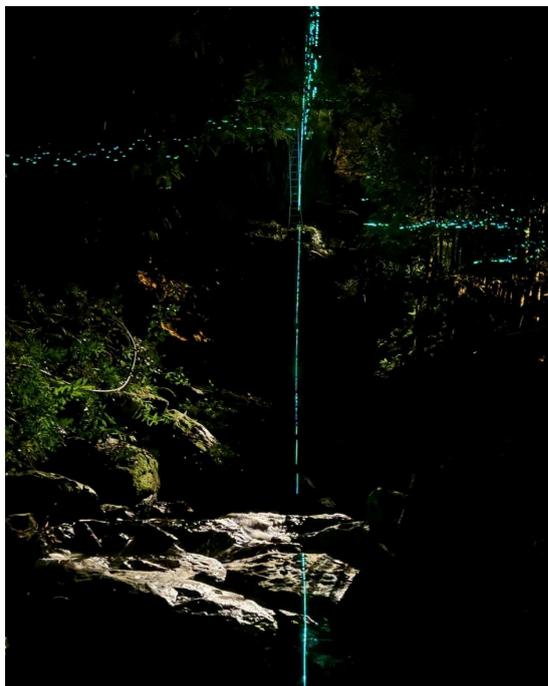
$$Q = \frac{0,0429}{12,76} = 0,0034 \text{ m}^3/\text{s}$$

Obtém-se que a vazão média do córrego é de 0,0034 m<sup>3</sup>/s. Nota-se que não é uma vazão muito elevada e em alguns períodos é bem variável, o que é influenciado principalmente, pelas questões climáticas.

#### 4.2 ALTURA DE QUEDA

Para a medição da altura de queda foram usados os métodos do nível a laser e o método do teodolito, por meio dos procedimentos descritos na seção 3.3. Inicialmente, é demonstrado nas Figuras 22, 23 e 24 o procedimento do nível a laser. As figuras mostram o posicionamento do nível a laser, a marcação do ponto de encontro do feixe de luz do nível com o objeto fixo e por fim, a medição da diferença da altura da marcação até o córrego (altura de queda), respectivamente.

Figura 22 - Método do nível a laser: Posicionamento do aparelho



Fonte: Do autor (2024).

Figura 23 - Método do nível a laser: Marcação do ponto de encontro do feixe de luz com um objeto fixo (árvore)



Fonte: Do autor (2024)

Figura 24 - Método do nível a laser: Medição da altura de queda



Fonte: Do autor (2024).

A altura de queda encontrada através do método do nível a laser entre o ponto a montante até o local determinado a jusante é de 5,10 metros. Para a aferição com o teodolito foi feita a etapa do posicionamento do equipamento e medição do ângulo, conforme apresenta a Figura 25.

Figura 25 - Método do teodolito: Posicionamento e medição do ângulo



Fonte: Do autor (2024).

O ângulo medido foi de  $83^\circ$  e a altura de medição, que equivale a altura da pessoa, é de 1,70m. Com a determinação do ângulo foi possível aplicar as Equações 06 e 07 e chegar nos seguintes resultados para a altura de queda.

$$\beta = 90^\circ - 83^\circ = 7^\circ$$

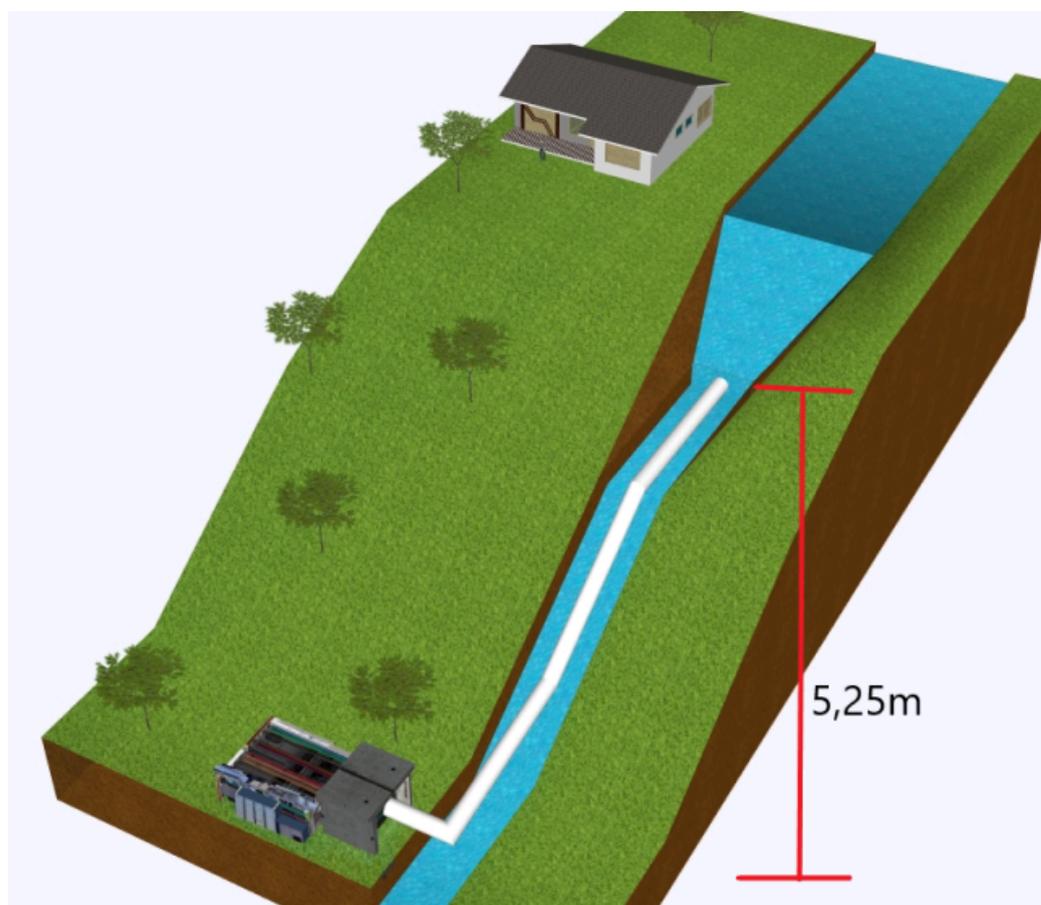
$$\tan(7^\circ) = \frac{h - 1,70}{30} = 5,4 \text{ m}$$

Pelo método do teodolito a altura encontrada é de 5,40m. A altura de queda de ambos os métodos são bem próximas, então adotou-se a altura média entre os dois métodos para o cálculo do potencial hidráulico, sendo de 5,25m. Alturas de queda de até 15 metros são consideradas baixas, já de 15 a 150 metros média e superior a 150 metros considera-se uma altura de queda d'água alta. Neste caso,

pode-se afirmar que a MCH do estudo é de baixa queda.

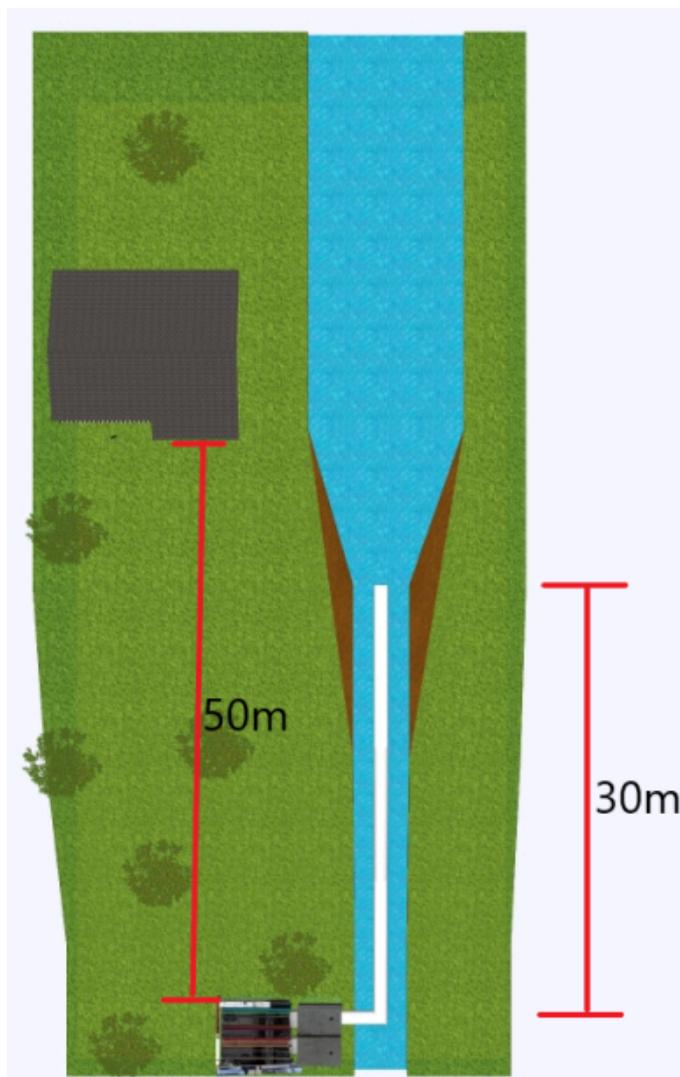
Como a altura de queda é um dos principais componentes que compõem o cálculo do potencial hidráulico isso influenciará diretamente no potencial gerado. As Figuras 26 e 27 ilustram o sistema, a altura de queda, a localização da residência, o local de captação, a posição do conjunto de turbina gerador e as distâncias entre os elementos..

Figura 26 - Esquema do local de estudo escolhido



Fonte: Do autor (2024).

Figura 27 - Planta baixa do esquema do local de estudo escolhido



Fonte: Do autor (2024).

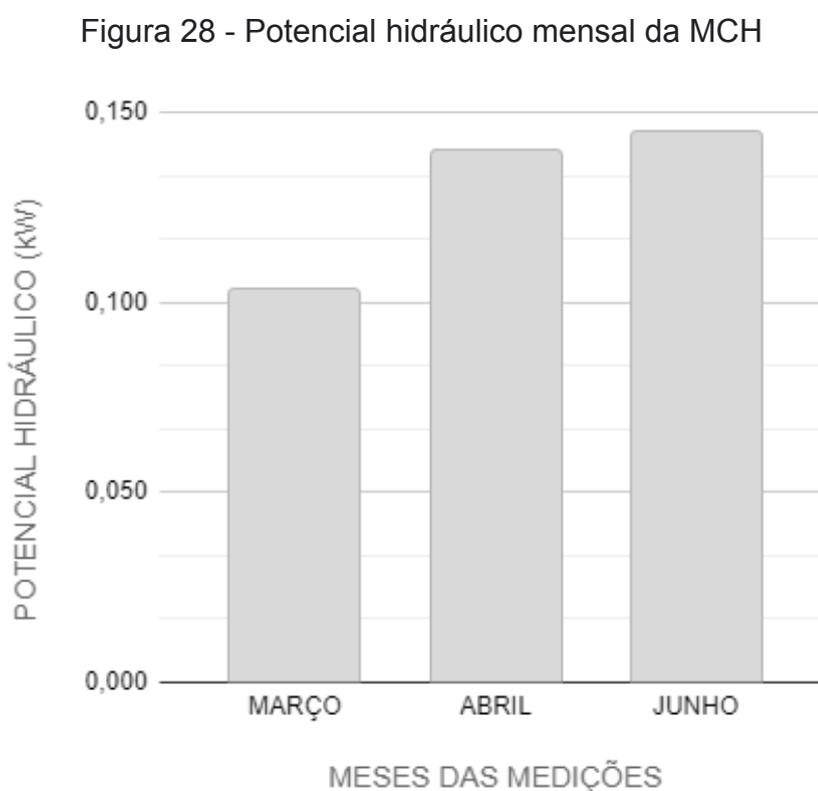
#### 4.3 POTENCIAL HIDRÁULICO

Levando em consideração a vazão média dos meses de análise pode-se estimar o potencial hidráulico da MCH através da Equação 08. A fórmula é o produto da altura de queda e a vazão e leva em consideração o rendimento e as perdas do sistema.

$$P = 7,16 \times 5,25 \times 0,0034 = 0,13 \text{ kW} = 130 \text{ W}$$

O potencial médio encontrado é de 0,13 kW, com isso em um dia a geração estimada é de 3,1 kWh. Se for considerado que o potencial se mantém constante e que o conjunto tem capacidade de geração 24 horas por dia, considerando o período de um mês com 30 dias, tem-se 93,6 kWh mensal.

Aplicando a mesma equação, fez-se uma análise do potencial hidráulico mensalmente, a fim de verificar, dentre os meses analisados, o que apresentou maior potencial de geração. Tais resultados podem ser verificados graficamente na Figura 28.



Fonte: Do autor (2024).

Verifica-se que nos meses de maior precipitação se tem maior geração de energia, portanto vale analisar as condições de clima da região em que se deseja instalar a MCH para garantir que a mesma consiga atender as necessidades durante todo o ano ou que, nos períodos de maior geração possa suprir economicamente os de menor potencial. Pode-se verificar que nos meses de menor precipitação não se tem um bom rendimento na geração e ainda, vale ressaltar que se teve meses atípicos, o que impactou nos resultados.

#### 4.4 CONJUNTO TURBINA GERADOR

Com a escolha da turbina geradora Hidreo® Mini Baixa Queda é necessário o cálculo do inversor e das baterias, os quais se deram conforme demonstrado no item 2.4.5. Inicialmente, verificou-se a potência em watt-pico do sistema da turbina escolhida sem desconsiderar as perdas (300W), onde adotou-se 83% de eficiência, que é a média sugerida entre a turbina e o gerador. Por meio da Equação 09 chegou-se ao resultado de 249 Wp.

$$W.pico = 300 \times 83\% = 249 Wp$$

Então, buscou-se modelos de inversores disponíveis em catálogos de fornecedores e que se encaixassem nas características dimensionadas, optou-se pela utilização de um inversor da marca Samlex Europe (Inversor De Onda Senoidal Pura Série PST-25S-24E), suas características técnicas podem ser observadas no Anexo B e são resumidas no Quadro 6.

Quadro 6 - Características técnicas do Inversor De Onda Senoidal Pura Série PST-25S-24E - Samlex Europe

(continua)

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
<b>SAÍDA CA</b>	
Voltagem de saída	230 VAC ± 3% + USB 5V A
Tipo de forma de onda de saída	Onda senoidal pura
Potência de saída contínua (com fator de potência = 1)	250 W
Potência de saída de surto (com fator de potência = 1)	500 W
Eficiência máxima	88%
<b>ENTRADA CC</b>	
Tensão nominal de entrada CC	24 VDC
Corrente máxima de entrada	15 A

(conclusão)

<b>PROTEÇÕES</b>	
Baixa tensão de entrada CC	Desligamento em $\leq 20V$ ; Reinicialização automática em $\geq 23V$
Curto-circuito/sobrecarga	A tensão de saída cai, mas não desliga. Redefinição automática na remoção
Polaridade reversa	Mini fusível automotivo do lado da entrada DC: 32V, 15A
Ventilador	Temperatura controlada de resfriamento
<b>AMBIENTE</b>	
Faixa de temperatura operacional	0°C to 40°C
<b>DIMENSÕES E PESOS</b>	
C X L X H (mm)	235 x 112.4 x 45.9
Peso (Kg)	0,885

Fonte: Adaptado de Samlex Europe (2024).

O equipamento suporta até 15A de corrente de entrada. Com isso, se calculou o FDI do conjunto, através da Equação 10.

$$FDI = \frac{250}{249} = 1,004$$

O FDI encontrado atende às características da turbina. Após, foi dimensionado o banco de baterias, onde considerou-se a energia consumida em alguns equipamentos da residência da análise, conforme demonstra o Quadro 7. Para o fator de correção se considerou 88% de rendimento do inversor e 90% da bateria.

Quadro 7 - Energia consumida diariamente do sistema de geração

EQUIP.	QTDE	POT (W)	POT TOTAL (W)	TEMPO USO (h/dia)	CONSUMO (Wh/dia)	FATOR DE CORREÇÃO	CONSUMO CORRIGIDO (Wh/dia)
Geladeira	1	130	130	8	1040	0,79	1313,13
Televisão	1	100	100	3	300	0,79	378,79
Lâmpadas	5	9	45	30	1350	0,79	1704,55
Ventilador	1	100	100	3	300	0,79	378,79
Carregador celular	2	18	36	4	144	0,79	181,82
<b>ENERGIA CONSUMIDA DIÁRIA (Wh/dia)</b>							<b>2644</b>

Fonte: Do autor (2024).

Com isso, fez-se o cálculo da capacidade do banco de baterias, conforme Equação 11. Adota-se tempo de autonomia de meio dia (0,5) e profundidade de descarga de 30%.

$$CBB = \frac{2644 \times 0,5}{0,3} = 4407 \text{ Wh}$$

Tem-se um banco de bateria com capacidade de 4407 Wh. Transforma-se para ampere hora de acordo com Equação 12 e adota-se um banco de baterias de 24V.

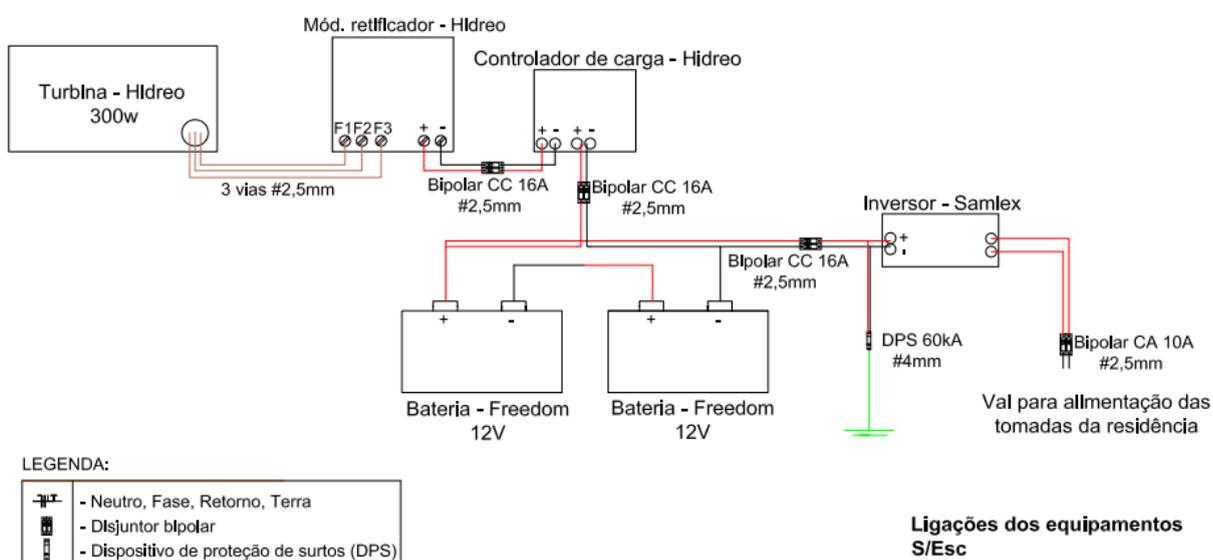
$$CBB = \frac{4407}{24} = 184 \text{ Ah}$$

Com o banco de bateria de 184 Ah aplica-se a Equação 13 para encontrar a quantidade de baterias ligadas em série que alimentarão o sistema. Utiliza-se bateria estacionária da marca Freedom Df2000 12V-105Ah/115Ah, a qual possui, conforme recomendação do fabricante, profundidade de descarga de 20% porém, para o sistema de trabalho adota-se 30% visto que, o sistema não utiliza de forma recorrente o banco de baterias. Considera-se para o dimensionamento o valor mínimo da amperagem da bateria escolhida (105 Ah).

$$QB = \frac{184}{105} = 1,75 = 2 \text{ baterias}$$

Então, para o sistema da MCH são necessárias duas baterias. Com os elementos definidos, montou-se um esquema elétrico geral da ligação dos elementos do sistema, que pode ser observado resumidamente na Figura 29 e com todos os detalhes no Apêndice A.

Figura 29 - Esquema elétrico do sistema resumido



Fonte: Do autor (2024).

#### 4.5 ESTUDO DE VIABILIDADE FINANCEIRA

O valor necessário para implantação da microcentral foi estimado em etapas, onde considerou-se os itens básicos para funcionamento, levando em consideração que a construção de uma barragem não se faz necessária. Os valores podem ser observados no Quadro 8.

Quadro 8 - Custo estimado para implantação da MCH

ITEM	SUB ITENS	CUSTO ESTIMADO (R\$)
Conjunto turbina	Turbina Hidreo mini baixa queda e controlador de carga	R\$ 6.990,00
Conjunto gerador	Baterias e inversor	R\$ 4.900,00
Instalações elétricas	Cabeamentos, disjuntores, fusíveis, demais materiais e mão de obra	R\$ 1.350,00
Instalações hidrossanitárias	Tubulações, curvas, conexões, demais materiais e mão de obra	R\$ 2.800,00
<b>CUSTO DE IMPLANTAÇÃO ESTIMADO</b>		<b>R\$ 16.040,00</b>
<b>CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (5%)</b>		<b>R\$ 802,00</b>

Fonte: Do autor (2024).

O gasto total estimado para a implantação da MCH é de R\$16.040,00, além do custo anual com operação e manutenção que foi considerado o sugerido pela ANEEL (2009), de 5% do investimento inicial, resultando em um custo de R\$802,00 anualmente. Com isso, fez-se a análise financeira do projeto e verificação da viabilidade, vale ressaltar que a energia gerada será utilizada na propriedade e não comercializada. Considerou-se um crescimento anual da tarifa de 5,7%, uma vida útil do projeto de 20 anos, na qual considera-se o valor de dois inversores, com duração de aproximadamente 10 anos e também, três bancos de baterias para a vida útil do projeto, realizando-se a troca a cada 7 anos. Adotou-se uma TMA de 8% a.a, a qual está baseada no rendimento aproximado da poupança atualmente.

Conforme demonstrado anteriormente, o valor do kWh está em aproximadamente R\$0,90, então em um mês se teria a capacidade de gerar R\$91,80 de receita com a MCH e em um ano seria capaz de obter R\$1.101,60. O Quadro 9 demonstra os cálculos dos fatores considerados no estudo da viabilidade, onde tem-se o valor do investimento, da operação e manutenção, a receita gerada e o fluxo de caixa, permitindo se chegar no VPL, na TIR e por fim, no tempo de retorno do investimento, o payback.

Quadro 9 - Análise financeira da MCH

<b>PERÍODO (ANO)</b>	<b>INVESTIMENTO (R\$)</b>	<b>CUSTO OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (R\$)</b>	<b>RECEITA DA MCH (R\$)</b>	<b>FLUXO DE CAIXA (R\$)</b>	<b>VALOR PRESENTE (R\$)</b>	<b>VALOR PRESENTE LÍQUIDO (R\$)</b>
0	R\$ 12.740,00	-	-	-R\$ 12.740,00	-R\$ 12.740,00	-R\$ 12.740,00
1	-	R\$ 802,00	R\$ 1.101,60	R\$ 299,60	R\$ 277,41	-R\$ 12.462,59
2	-	R\$ 802,00	R\$ 1.164,39	R\$ 362,39	R\$ 310,69	-R\$ 12.151,90
3	-	R\$ 802,00	R\$ 1.230,76	R\$ 428,76	R\$ 340,36	-R\$ 11.811,54
4	-	R\$ 802,00	R\$ 1.300,91	R\$ 498,91	R\$ 366,72	-R\$ 11.444,82
5	-	R\$ 802,00	R\$ 1.375,07	R\$ 573,07	R\$ 390,02	-R\$ 11.054,80
6	-	R\$ 802,00	R\$ 1.453,45	R\$ 651,45	R\$ 410,52	-R\$ 10.644,28
7	R\$ 1.400,00	R\$ 802,00	R\$ 1.536,29	-R\$ 665,71	-R\$ 388,43	-R\$ 11.032,71
8	-	R\$ 802,00	R\$ 1.623,86	R\$ 821,86	R\$ 444,03	-R\$ 10.588,69
9	-	R\$ 802,00	R\$ 1.716,42	R\$ 914,42	R\$ 457,44	-R\$ 10.131,25
10	R\$ 500,00	R\$ 802,00	R\$ 1.814,26	R\$ 512,26	R\$ 237,27	-R\$ 9.893,97
11	-	R\$ 802,00	R\$ 1.917,67	R\$ 1.115,67	R\$ 478,49	-R\$ 9.415,48
12	-	R\$ 802,00	R\$ 2.026,98	R\$ 1.224,98	R\$ 486,46	-R\$ 8.929,03
13	-	R\$ 802,00	R\$ 2.142,51	R\$ 1.340,51	R\$ 492,90	-R\$ 8.436,12
14	R\$ 1.400,00	R\$ 802,00	R\$ 2.264,64	R\$ 62,64	R\$ 21,33	-R\$ 8.414,80
15	-	R\$ 802,00	R\$ 2.393,72	R\$ 1.591,72	R\$ 501,78	-R\$ 7.913,02
16	-	R\$ 802,00	R\$ 2.530,16	R\$ 1.728,16	R\$ 504,43	-R\$ 7.408,58

17	-	R\$ 802,00	R\$ 2.674,38	R\$ 1.872,38	R\$ 506,05	-R\$ 6.902,54
18	-	R\$ 802,00	R\$ 2.826,82	R\$ 2.024,82	R\$ 506,71	-R\$ 6.395,83
19	-	R\$ 802,00	R\$ 2.987,95	R\$ 2.185,95	R\$ 506,51	-R\$ 5.889,32
20	-	R\$ 802,00	R\$ 3.158,27	R\$ 2.356,27	R\$ 505,53	-R\$ 5.383,78

<b>Valor presente do ano 1 ao 20</b>	R\$ 7.356,22
<b>VPL</b>	-R\$ 5.383,78
<b>TIR</b>	3,33%
<b>Payback descontado (ano)</b>	Projeto Inviável

Fonte: Do autor (2024).

Diante dos resultados obtidos, pode-se observar que o projeto é inviável economicamente. A taxa interna de retorno é menor que a taxa mínima de atratividade e também, o payback não é superado dentro do tempo de vida útil do projeto.

Observa-se que o sistema demanda um custo inicial um tanto quanto elevado para um pequeno sistema de geração. Quando os custos iniciais são muito altos e não são compensados pelas economias futuras geradas pela operação do sistema, o retorno sobre o investimento não é suficiente para justificar o projeto. Acredita-se que o principal fator que influenciou nos resultados foi a pouca vazão disponível no período analisado e também a sua elevada variação e conseqüentemente, o baixo potencial hidráulico gerado. Os custos com manutenção da MCH também ficaram elevados, o que contribuiu para a não viabilidade.

Estima-se que se a vazão fosse em torno do dobro da aferida, seria possível atingir o payback dentro dos 10 anos e tornar o projeto viável. Outra possibilidade seria reduzir a TMA, tornando o projeto viável economicamente dentro do tempo de vida útil, porém, diminuindo a atratividade do investidor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo principal desenvolver um estudo para verificar a viabilidade da implantação de um micro central hidrelétrica (MCH) em uma propriedade privada em Bento Gonçalves/RS. O processo se deu em diversas etapas subsequentes.

As microcentrais hidrelétricas são uma solução promissora no campo da geração de energia, representando uma forma mais sustentável e ambientalmente amigável de produção de eletricidade. Além de que, a microgeração permite o abastecimento em comunidades isoladas, reduzindo a dependência de redes de distribuição de energia, contribuindo para a segurança energética, diminuindo a vulnerabilidade nas interrupções do fornecimento e também proporciona redução dos custos de energia.

Através da coleta de dados no local do estudo foi possível encontrar a vazão e a altura de queda. Com a vazão disponível na propriedade a turbina consegue gerar uma quantidade específica de energia, porém é limitada, o que não permite desempenho total do sistema. Vale ressaltar que se teve meses atípicos em relação às condições climáticas, o que pode ter impactado nos resultados. A altura encontrada foi de 5,25m e com isso, foi possível analisar o potencial de geração da área de estudo, o qual é de 3,4 kWh/dia. Com base nestes dados realizou-se a verificação da viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema.

A análise técnica levou em consideração os dados coletados e foi sucedida pela avaliação da viabilidade financeira, onde considerou-se os custos de investimento, operação e manutenção. Com isso, aplicou-se os conceitos financeiros e verificou-se que o projeto é inviável economicamente. Se a vazão disponível fosse maior, o tempo de retorno do investimento seria reduzido, tornando o projeto atrativo ao investimento.

Para quem possui uma propriedade com acesso a recursos hídricos ou a possibilidade de desenvolvê-los, seja através de represamento ou canalização, é recomendável considerar a investigação ou a contratação de serviços especializados para avaliar a viabilidade da implantação de uma usina geradora. A adoção destes sistemas, seja em projetos de grande ou pequeno porte, apresenta a vantagem de economizar significativamente nos custos de eletricidade, ao mesmo

tempo que promove a preservação ambiental devido sua natureza ser uma fonte de energia limpa. Essa ação também assegura que as próximas gerações tenham acesso a esse recurso precioso que é a energia elétrica, algo cada vez mais essencial para a vida humana, ao mesmo tempo que impulsiona o crescimento contínuo da geração distribuída em nosso país.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao final deste trabalho notou-se que nem todos os aspectos foram analisados, percebeu-se que há inúmeros outros fatores que podem se relacionar com as Micro Centrais Hidrelétricas. Portanto, sugere-se alguns pontos que podem servir de base para outros estudos, são eles:

- Realizar medições durante todos os meses do ano, a fim de verificar possíveis variações no potencial gerado.
- Estudar sobre novos sistemas e componentes que podem ser utilizados em uma MCH.
- Montar um plano de implantação em massa de MCH's em áreas rurais.
- Sugerir a criação de uma barreira física anterior ao local onde tem-se a tomada de água do sistema, a fim de buscar aumento da potência gerada e conseqüentemente, a melhora do desempenho da turbina.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **ANEEL regulamenta marco legal da Micro e Minigeração Distribuída**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-regulamenta-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-distribuida#:~:text=A%20Lei%2014.300%2F2022%20traz,para%20minigeradores%20das%20demais%20fontes>>. Acesso em: 26 de mar. de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Cadernos Temáticos ANEEL. Mini e Microgeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. ANEEL. Brasília, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Energia Hidráulica. Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Geração Distribuída**. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída**. ANEEL. Brasília, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Módulo 1 - Glossário de termos técnicos do PRODIST**. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Módulo 3 - Conexão ao sistema de distribuição de energia elétrica**. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Recorde na expansão da geração: matriz elétrica brasileira teve aumento de 10,3 GW em 2023**. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/recorde-na-expansao-da-geracao-matriz-eletrica-brasileira-teve-aumento-de-10-3-gw-em-2023>>. Acesso em: 08 de jan. de 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa Nº 1.000**. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução normativa Nº 482**. v. 66, p. 37–39. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Sistemas de informações de geração da ANEEL SIGA**. 2024.

ALENCAR, H. S; VIANA, A. N. C. **Microcentral Hidrelétrica Boa Esperança - Um Estudo de Implantação para a Geração Descentralizada no Brasil**. Universidade Federal de Engenharia de Itajubá - UNIFEI. Minas Gerais, 2002. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v2/091.pdf>>. Acesso em: 26 de mar. de 2023.

ALVES, G. M. **Avaliação da viabilidade de implantação de uma microcentral hidrelétrica, para atender consumidores localizados em regiões isoladas.** Botucatu, 2007. Tese Doutorado (Agronomia, Área de Concentração em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu – UNESP.

ANDRITZ. **ANDRITZ Hydro.** Disponível em: <<https://www.andritz.com/hydro-en#>>. Acesso em: 12 mai. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10208: Edificações habitacionais — Desempenho, Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. **LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em: 07 de abr. 2023.

CAIXA. **Fluxo de Caixa.** 2024. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/educacao-financeira/empresa/fluxo-de-caixa/Paginas/default.aspx#:~:text=De%20forma%20simples%2C%20podemos%20dizer,um%20determinado%20per%C3%ADodo%20de%20tempo>>. Acesso em: 08 de jan. 2024.

CASA DA MATEMÁTICA. **7 fórmulas para cálculo de volumes dos sólidos geométricos.** 2018. Disponível em: <<https://casadamatematica.com.br/7-formulas-para-calculo-de-volumes-dos-solidos-geometricos/>>. Acesso em: 26 de mar. 2024.

CHIARAVALLOTI, R. M; PÁDUA, C. V. **Escolhas sustentáveis: Discutindo biodiversidade, uso da terra, água e aquecimento global.** São Paulo: Editora Urbana, 2011.

COFFERRI, M. **Determinação de vazão em cursos d'água através de diferentes metodologias.** Jurnal Sains dan Seni ITS, v. 6, n. 1, p. 51–66, 2017.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. ND5.30. **Manual de Distribuição: Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig D – Conexão em Baixa Tensão.** 2019.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA - CONFAZ. **Convênio ICMS 16/15 de 22/04/2015.** Brasil.

COOPERLUZ, Energia para compartilhar. **Tabela de consumo (kWh).** 2023. Disponível em: <<https://www.cooperluz.com.br/tabela-de-consumo>>. Acesso em: 13 de nov. 2023.

CORRÊA, L. F. N. **Estudo de uma Microcentral Hidrelétrica com Geração Distribuída**. Tubarão, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade do Sul de Santa Catarina.

CORTEZ, A. V. E. **Análise de geração distribuída para consumidores no mercado livre de energia**. Santa Maria, 2020. Trabalho de Conclusão (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM.

CPFL ENERGIA. **Taxas e Tarifas**. Disponível em: <<https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#/taxas-tarifas>>. Acesso em: 07 de mai. 2023.

DAKER, A. **Hidráulica aplicada à agricultura: A água na agricultura**. 6. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983.

DE PAULA, G. B. **Demonstrativo de Fluxo de Caixa: o que é, como usar e dicas para sua empresa!** Treasy, 2013. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/demonstrativo-de-fluxo-de-caixa/>>. Acesso em: 08 de jan. de 2024.

DG, F. **Como saber qual é a inclinação de um terreno**. Dicas de Arquitetura, 2019. Disponível em: <<https://dicasdearquitetura.com.br/como-saber-qual-e-a-inclinacao-de-um-terreno/>>. Acesso em: 26 de mar. de 2023.

DIAS, M. V. X; BOROTNI, E. C; HADDAD, J. **Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras**. Revista brasileira de energia, vol. 11 nº2, 2016. Disponível em: <<https://silo.tips/download/geracao-distribuida-no-brasil-oportunidades-e-barreiras>>. Acesso em: 26 de mar. de 2023.

DPCA, Distributed Power Coalition of America. **Benefits of Distributed Power to Utilities**. Novembro, 2005. Disponível em: <<http://www.distributedgeneration.com/dpca/utilities.html>>. Acesso em: 26 de mar. de 2023.

DUARTE, V. R. **Avaliação de risco na implantação de geração eólica utilizando análise de sensibilidade**. Florianópolis, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Sistemas de Energia) - IFSC.

EGS. ERIVALDO GRID SOLAR. **Como dimensionar as baterias para o sistema de energia solar off grid muito fácil!**. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=EOw30TCYFYM>>. Acesso em: 16 de mai. 2024.

ELETROBRAS. **Manuais e Diretrizes para Estudos e Projetos: Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. 2022.

ELETROBRAS. **Manual de microcentrais hidrelétricas**. 1985.

EMBRAPA. **Boletim Agrometeorológico da Serra Gaúcha**. 2022. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1151263/1/Boletim-Agrometeorologico-da-SG-Janeiro-23.pdf>>. Acesso em: 09 de jan. de 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional. 2023.**

ENGIE. **Saiba tudo sobre usinas hidrelétricas, fundamentais para transição energética.** 2023. Disponível em: <[https://www.alemdaenergia.engie.com.br/tudo-sobre-usinas-hidreletricas/#:~:text=Classifica%C3%A7%C3%A3o%20das%20usinas%20hidrel%C3%A9tricas&text=A%20altura%20da%20queda%20d,\(superior%20a%20150%20metros\)](https://www.alemdaenergia.engie.com.br/tudo-sobre-usinas-hidreletricas/#:~:text=Classifica%C3%A7%C3%A3o%20das%20usinas%20hidrel%C3%A9tricas&text=A%20altura%20da%20queda%20d,(superior%20a%20150%20metros))>. Acesso em: 16 de out. de 2023.

GAMA, P.H.R.P; MESSORA, A.C; BOARATI, J.H; FLORES, E. (Bandeirante Energia); COELHO, M. S. B. P. (Ultragaz); HADDAD, J; BORTONI, E. C; LORA, E. S; TEIXEIRA, F. N; VENTURINI, O. J. (UNIFEI – GEE/NEST); JÚNIOR, F. A. P., (Sinerconsult); GOUVEA, M. R. (USP- Enerq). **Oportunidades e Barreiras da Geração Distribuída para a Distribuidora de Energia Elétrica: Aspectos Tecnológicos, Ambientais, Comerciais e Legais.** 2003. II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. **Política energética no Brasil.** v. 19, n. 55, p. 215-28, 2005.

GUANABARA, I. **FDI - Fator de Dimensionamento do Inversor - 04/09 (PT-BR).** 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=rMig3ZkrdVM>>. Acesso em: 10 de mai. 2024.

HIDREO. **Como funciona a Hidreo® MINI Baixa Queda - Energia hídrica a partir de APENAS 2,5 metros de queda.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=3gBz40G9Akg>>. Acesso em: 10 de jan. 2024.

HIDREO. **Perguntas e respostas - Hidreo® MINI Baixa Queda (a menor turbina hidrelétrica da Hidreo® no Brasil).** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=1GSPRIMu2oA>>. Acesso em: 10 de jan. 2024.

HIDREO. **Turbina Hidrelétrica - Hidreo® Mini Baixa Queda.** Disponível em: <[https://www.loja.hidreo.com.br/MLB-3467340319-hidreo-mini-baixa-queda-micro-turbina-para-baixas-quezas-\\_JM](https://www.loja.hidreo.com.br/MLB-3467340319-hidreo-mini-baixa-queda-micro-turbina-para-baixas-quezas-_JM)>. Acesso em: 10 de jan. 2024.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE - IMA. **Produção de energia hidrelétrica - Instrução normativa N°44.** 2019.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE - IEMA. **Um milhão estão sem energia elétrica na Amazônia, mostra IEMA.** 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - INEE. **O que é geração distribuída.** 2023.

KAGAN, N; OLIVEIRA, C. C. B; ROBBA, E. J. **Introdução aos Sistemas de distribuição de Energia Elétrica**. 2ª Edição. São Paulo: Blucher, 2010.

LIMA, B. J; SILVA, L. M; HORTA, D. M. **Micro e/ou mini central hidrelétrica na geração de energia distribuída**. Anais do 1º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsona. 2019; 1231-1248.

LUDWIG, G. **Dimensionamento de Microcentral Hidroelétrica no Ambiente de Geração Distribuída**. 2016. 29f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

LUKACHESKI, S. **Dimensionamento de um inversor fotovoltaico considerando a potência dos módulos**. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=EI-UPiTRv0k>>. Acesso em: 10 de mai. 2024.

MAIA, A. **Qual é o FDI Ideal? - Fator de Dimensionamento do Inversor | Aryel Maia**. 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=c70tRH54c9c>>. Acesso em: 10 de mai. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Renováveis impulsionam a geração de energia elétrica no Sul**. 2016.

MULLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995.

NERIS, A. **10 alterações do Marco Legal da geração distribuída**. 2022. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/blog/10-alteracoes-do-marco-legal/>>. Acesso em: 07 de abr. 2023.

NUERNBERG, J. P. B.; SPECK, J. A. **Cálculo de potencial hidrelétrico no sistema de abastecimento de água em Siderópolis – SC**. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Santa Catarina, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5908/1/Jo%C3%A3oPedroBortolottoNuernberg.pdf>>. Acesso em: 07 de abr. 2023.

PALOMBIT, D. L. **Geração de Energia Hidrelétrica em Propriedades Rurais do Oeste Catarinense - Um estudo de caso**. Chapecó, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul.

PATRZYK, L.E., AMOLARO, C. L., NESPOLO, J. L. D., LIMA, L. E. M. **Propostas para melhoria no desempenho de um sistema de bombeamento utilizando roda d'água**. XXV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 27 a 31 de agosto de 2018 – Brasília, DF.

PUCCINI, A. de L. **Matemática financeira: objetiva e aplicada**. 9. ed. São Paulo: Elsevier, 2011.

REIS, L. B. **Geração de energia elétrica**. 3. ed. Barueri: Manole, 2017.

RIOS, F. P; FORMIGA, K. T. M; ALVES, P. L; OLIVEIRA, V. T. **Estudo comparativo entre métodos de medição de vazão em cursos d'água**. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ed. 19, p. 1–12, 2011.

ROCHA, J. P. **Metodologia de projecto de sistemas de produção de electricidade descentralizadas baseados em Energia Hídrica**. Porto, 2008. Dissertação Mestrado (Engenharia Elétrica) – Universidade do Porto, Portugal.

RUBIK, M. **Avaliação técnica e econômica na implantação de micro geração hidrelétrica em uma propriedade rural**. Florianópolis, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica - Instituto Federal de Santa Catarina).

SAMLEX EUROPE. **Inversor De Onda Senoidal Pura Série PST-25S-24E**. Disponível em: <<https://samlex.com/product/pst-25s-24e/>>. Acesso em: 09 de mai. de 2024.

SANTOS, I; FILL, H. D; SUGAI, M. R. V. B; BUBA, H; KISHI, R. T; MARONE, E; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SCANDIAN, F.R; SORIO, P. S.; VIANA, W. S.; THOMPSON, J. C. **Aplicando a trigonometria: Medições com teodolito, régua e trena**. Espírito Santo, 2012. III Jornada de Iniciação à Docência. IFES.

SICARI, L. F. **Ambientes de Contratação de Energia: Mercado Livre x Mercado Cativo**. Uberlândia, 2020. Trabalho de Conclusão de Curso ( Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia.

SILVA, P. **Estudo de compartilhamento de carga entre múltiplas fontes renováveis compondo uma microrrede cc**. Angewandte Chemie International Edition, p. 951– 952., 2018.

SINGH, Dilip. **Micro hydro power: resourse assessment handbook**. New Delhi, India: APCTT – Asian and Pacific Center for Transfer of Technology, 2009.

SIQUEIRA, A. **Valor presente: o que é, para que serve e como fazer o cálculo?**. Blog Magnetis. Disponível em: <<https://blog.magnetis.com.br/valor-presente-o-que-e-para-que-serve-e-como-fazer-o-calculo/>>. Acesso em: 17 de jan. de 2024.

SOUSA, V; J; SOUZA, T. M; CASTRO, J. N. C. **Levantamento de micropotenciais hidráulicos para geração de energia elétrica e acionamento mecânico de máquinas da região de Cunha - SP**. In Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas, 2002. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022002000200017&lng=en&nrm=iso](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200017&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 26 de mar. de 2023.

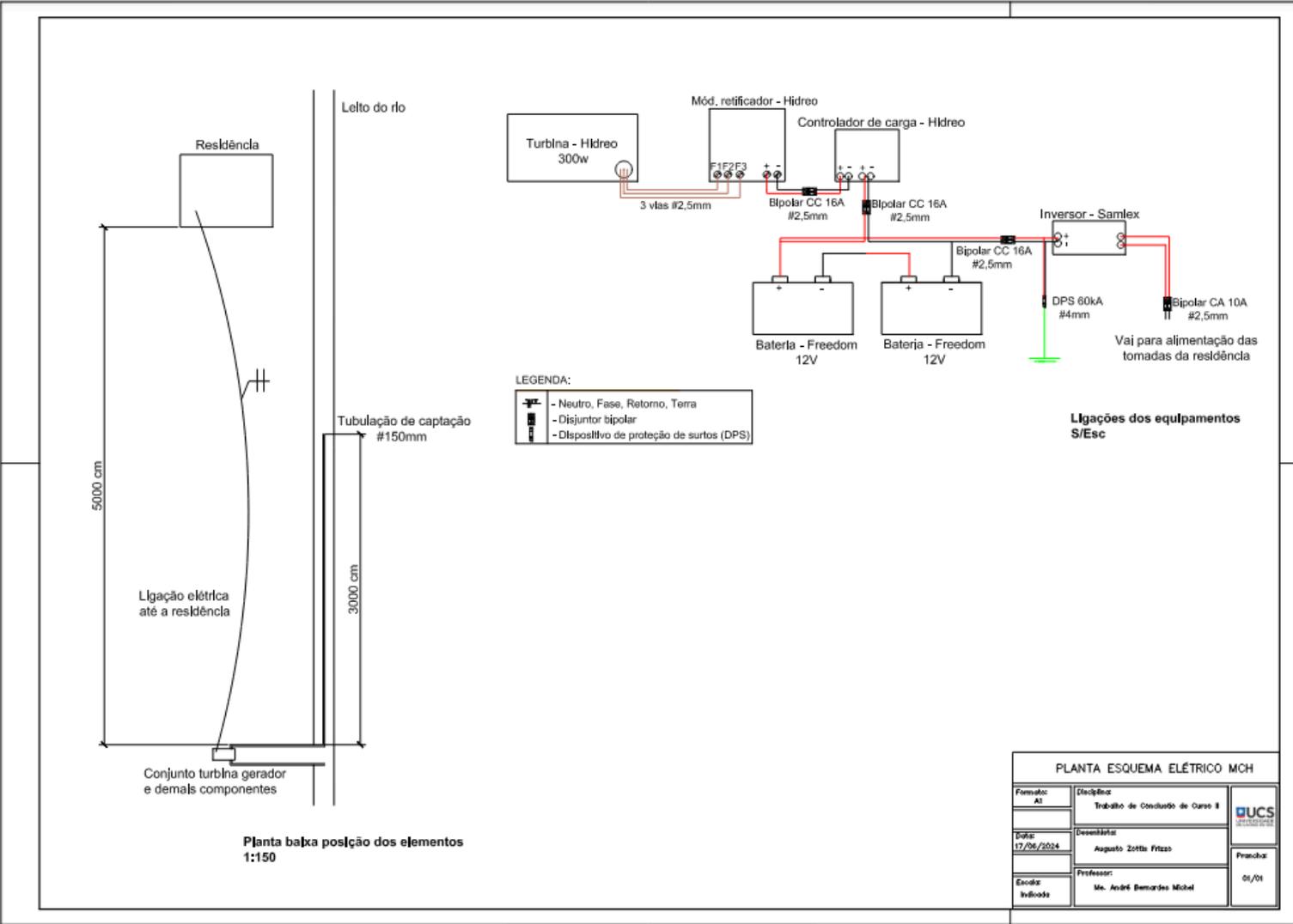
SOUZA, Z; SANTOS, A. H. M; BORTONI, E. C. **Centrais Hidrelétricas - Implantação e Comissionamento** - 2ªed. Rio de Janeiro: Interciência LTDA, 2009.

VALUATA. **O que é: Watt-pico (WP).** 2024. Disponível em: <<https://valuata.com.br/glossario/o-que-e-watt-pico-wp/#:~:text=O%20c%C3%A1lculo%20do%20watt%2Dpico,watt%2Dpico%20de%2054%20Wp.>>. Acesso em: 10 de mai. 2024.

VILLALVA, M. G; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações. Sistemas isolados e conectados à rede.** 1 ed. - São Paulo: Érica, 2012.

WEG. **WEG fornece conjunto turbina gerador em base única (skid) para CGH.** Disponível em: <<https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-esolucoes/weg-fornece-conjunto-turbina-gerador-em-base-unica-skid-para-cgh>>. Acesso em: 15 de jan. de 2024.

### APÊNDICE A - ESQUEMA ELÉTRICO DA MCH



## ANEXO A - MANUAL HIDREO MINI BAIXA QUEDA

### MANUAL

### Hidreo MINI BAIXA QUEDA®



#### 1. Informações de segurança

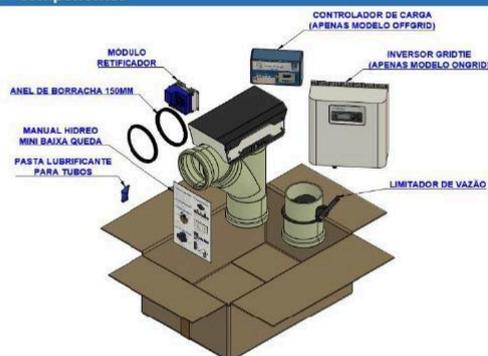
- Leia cuidadosamente todas as instruções neste manual antes de iniciar a instalação e operação da Hidreo MINI Baixa Queda®.
- **NÃO** desmonte ou tente reparar o equipamento sem a devida orientação.
- É recomendado a Instalação de disjuntores conforme indicado neste manual.
- Siga as instruções do manual do controlador de carga para instalação elétrica (fornecido junto com a Hidreo MINI Baixa Queda®).
- Risco de acidente com elementos móveis: **NÃO** manusear o equipamento enquanto estiver em operação.
- Risco de choque elétrico: o equipamento é capaz de produzir altas tensões durante operação.

#### 2. Visão geral

A Hidreo MINI Baixa Queda® é equipamento capaz de gerar energia elétrica limpa a partir dos menores pontos de disponibilidade hídrica como: pequenos rios, descarte de água sob pressão em indústrias, entre outros.

- Potência: 300 Watts;
- Geração de Energia: até 220 kWh/mês;
- Desnível de funcionamento de 2,5 a 5 metros;
- Captação a fio d'água (sem represamento);

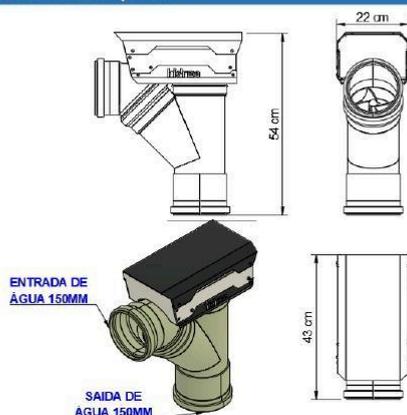
#### 3. Componentes



#### Itens NÃO fornecidos

- Sistema de Captação de água;
- Tubulação e conectores hidráulicos;
- Inversor offgrid;
- Conjunto de baterias
- Cabeamento e conectores elétricos;
- Barra de aterramento e outros sistemas de proteção.

#### 4. Características do produto

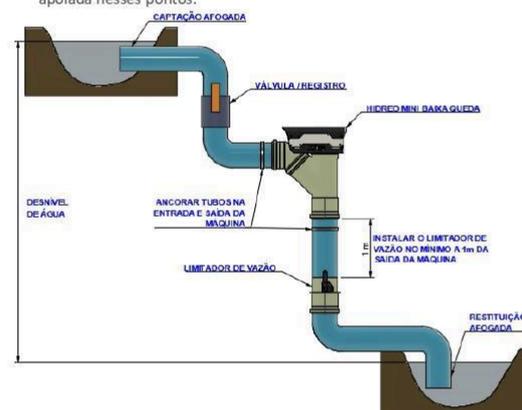


#### 5. Instalação

1. Definir a tubulação necessária considerando as perdas de carga. a Hidreo disponibiliza no link [hidreomini.hidreo.com.br](http://hidreomini.hidreo.com.br) vídeos, tabelas e outros materiais explicativos. Em caso de dúvidas, entre em contato com nossa equipe.

QUEDA / DESNÍVEL	VAZÃO MÍNIMA	DIÂMETRO TUBULAÇÃO RECOMENDADO
2,5 m	49 L/s	200 mm
3,0 m	41 L/s	150 mm
3,5 m	35 L/s	150 mm
4,0 m	31 L/s	150 mm
4,5 m	27 L/s	150 mm
5,0 m	25 L/s	150 mm

- Valores de queda/desnível **desconsiderando** as perdas de carga na tubulação. A máquina pode precisar de maior vazão para compensar ineficiências do sistema.
  - Vazões estimadas para gerar 300W de potência
  - Recomenda-se uma tubulação de no mínimo 150 mm de diâmetro. Se o desnível for menor que 3,0m, utilizar tubos de 200mm com reduções na entrada e saída da máquina.
2. Fixar a tubulação conforme o diagrama abaixo. Atentar na ancoragem dos tubos próximo da entrada e saída de água, pois a máquina será apoiada nesses pontos.

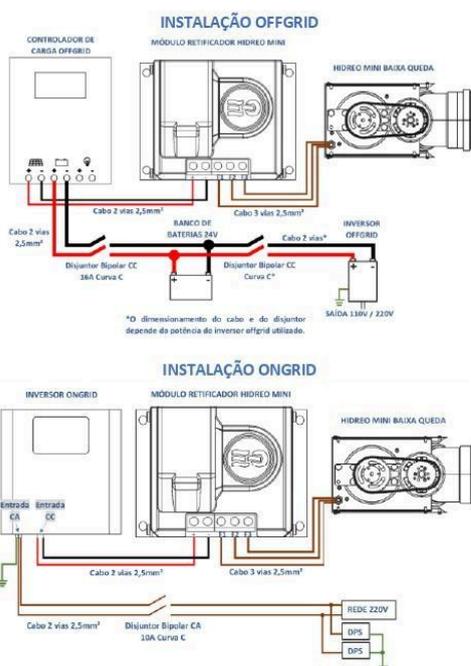


- A tubulação na entrada e saída da máquina na **deve ser afogada**. A entrada de ar prejudica a operação do equipamento.
- Deve ser instalado um filtro na captação para impedir que detritos entrem na tubulação e causem danos ao equipamento.
- **Não** instalar o limitador de vazão logo na saída da máquina. Manter uma distância de no mínimo 1 m.
- Recomenda-se instalar uma válvula/registro ou comporta para controle do fluxo de água.
- **Atenção:** A Hidreo MINI Baixa Queda® não foi projetada para ser instalada completamente exposta ao tempo. Recomendamos que seja instalada em local protegido da incidência direta do sol e da chuva. A exposição prolongada ao sol e chuva pode diminuir a sua vida útil.

- Fixar os componentes elétricos (Controlador de carga + baterias para Offgrid ou inversor Ongrid) em um local coberto e protegido contra intempéries. Ver nos manuais respectivos de cada equipamento as distâncias mínimas para garantir uma boa ventilação.

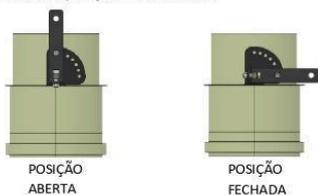


- Conectar o Controlador de carga, banco de baterias, a Hidreó MINI® e o inversor de frequência conforme esquema
- s abaixo.



- Atenção:** Ao conectar o controlador de carga, **SEMPRE** ligar primeiro às baterias e só depois à Hidreó MINI Baixa Queda®. **NUNCA** operar o equipamento sem baterias.
- Para mais informações a respeito da instalação e operação do controlador de carga ou inversor Ongrid, consultar seus respectivos manuais (fornecido junto com o equipamento).
- A instalação elétrica deve ser executada por um profissional habilitado segundo NBR 5410.
- Atenção:** **SEMPRE** prestar atenção na polaridade dos cabos

- Antes de liberar a passagem de água, certifique-se que o limitador de vazão se encontra na posição mais fechada.



- Liberar a passagem de água observar a potência gerada. Abra o limitador de vazão gradativamente. Quando estabilizar em 300W, travar o limitador na posição.

**Atenção:** Não operar a máquina acima de 300W por tempos prolongados. Sob o risco de danificar o equipamento e perda de garantia.

## 6. Operação e Manutenção

- Antes de iniciar a operação, verifique toda instalação elétrica e hidráulica. Cheque se todos os disjuntores conectados estão ligados.
- Atenção:** As válvulas devem ser **LENTAMENTE** abertas ou fechadas. Aberturas e fechamentos rápidos podem provocar acidentes graves devido a variações bruscas de pressão dentro da tubulação.
- É recomendado verificações periódicas ou após chuvas fortes para limpeza de folhas ou detritos obstruindo a captação.
- É recomendado a lubrificação da corrente uma vez por mês.

## 7. Garantia

O produto possui garantia de 1 (um) ano contra defeitos de fabricação, já inclusa a garantia legal de 90 (noventa) dias.

A garantia não é válida caso ocorram:

- Danos causados pelo uso impróprio ou ambiente inadequado.
- Desmontagem ou tentativa de reparar o equipamento sem permissão.
- Danos ocasionados por causas naturais como descargas elétricas, tempestades, vendavais, enchentes etc.
- Danos durante transporte.

## 8. Solução de problemas

Problema	Possível causa	Solução
A Hidreó MINI® não está gerando energia ou está gerando abaixo do desejado	Captação de água bloqueada	Desbloquear e limpar a captação. Se necessário, adicionar um filtro de detritos.
	Turbina danificada	Substituir turbina
	Vazão do rio insuficiente	Reajustar o limitador de fluxo. É recomendado manter a tubulação cheia, mesmo se a potência gerada for menor.
	Entrada de ar na tubulação	Arrumar ponta no tubo da captação e / ou verificar vedações
	Engrenagem ou corrente desgastadas ou rompidas	Substituir engrenagem ou corrente.

## 9. Ficha técnica

Item	Valor
Faixa de operação	3 a 5 m
Tubulação de entrada	Ø150 mm
Tubulação de saída	Ø150 mm
Potência nominal	300 Watts
Capacidade de geração	até 220 kW.h/mês
Tensão nominal das baterias	24 V
Corrente máxima	15 A
Temperatura ambiente de operação	0°C a 35°C
Dimensões Gerais	
Peso líquido	12 kg
C x L x A (Comprimento x Largura x Altura)	43 x 22 x 54 cm

## ANEXO B - FICHA TÉCNICA INVERSOR SAMLEX



### POWER CONVERSION PRODUCTS

#### PST Series Pure Sine Wave Inverter

##### FEATURES

- Low-Profile Design
- USB Charging Port: 5V, 2.1A
- Temperature controlled fan – runs quieter, reduces energy consumption
- LED indicators for power and protection
- Low battery alarm / shut down
- Low idle power draw of less than 0.7 Amps

##### APPLICATIONS

- Service vehicles
- Recreation Vehicles
- Solar power systems
- Trucks
- Marine



**250 WATTS**

##### TECHNICAL SPECIFICATIONS

Model no.	PST-25S-24E
<b>AC output</b>	
Output voltage	230 VAC $\pm$ 3% + USB 5V 2.1A
Output current	
Output frequency	50 Hz $\pm$ 1%
Type of output waveform	Pure Sine Wave
Total harmonic distortion of output wave form	< 3%
Continuous output power (at power factor = 1)	250 Watts
Surge output power (at power factor = 1)	500 Watts
Peak efficiency	88%
AC output connection	Schuko standard
<b>DC input</b>	
Nominal dc input voltage	24 VDC
DC input voltage range	20 - 33VDC
Maximum input current	15A
DC input current at no load	< 500 mA
DC input connection	Mating Battery Modular Connector on inverter side
<b>Display</b>	
3 Color Led	For Operational Conditions
<b>Protections</b>	
Low DC Input Voltage	Shutdown at $\leq$ 20V; Auto-reset at $\geq$ 23V
High DC Input Voltage	Shutdown at $\geq$ 33V; Auto-reset at $\leq$ 33V

Technical Specifications subject to change without notification.

view a full selection of Samlex products visit our website at:  
[www.samlex.com](http://www.samlex.com) or [www.samlex-solar.com](http://www.samlex-solar.com)



## POWER CONVERSION PRODUCTS

### TECHNICAL SPECIFICATIONS

Short Circuit / Overload	Output voltage drops, but does not shut down. Auto-reset on removal
Over Temperature	Shut down when internal hot spot is ≥ 105°C. Auto-reset on cooling
Reverse Polarity On DC Input Side	Automotive Mini Blade Fuse: 32V, 15A
High DC Output Of Usb Port	Shuts down USB Port at ≥ 6.2V
Cooling	Temperature Controlled Fan
<b>Environment</b>	
Operating Temperature Range	0°C to 40°C
<b>Compliance</b>	
Safety	EN 60950-1 : 2006+A11 : 2009+A1 : 2010+A12 : 2012
EMC/ EMI	EN 55022 : 2010 Class B EN 61000-4-2 : 2009 EN 61000-4-3: 2006+A2 : 2010 EN 61000-4-4 : 2012 EN61000-4-6 : 2009 EN61000-4-8 : 2010 EN 55024 : 2010
<b>Dimensions &amp; Weights</b>	
(L X W X H) mm	235 x 112.4 x 45.9
(Kg)	0.885

Technical Specifications subject to change without notification.

view a full selection of Samlex products visit our website at:  
[www.samlex.com](http://www.samlex.com) or [www.samlex-solar.com](http://www.samlex-solar.com)