

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FELIPE MIGUEL NICOLINI DA SILVA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE  
MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA ABASTECER UMA ESTAÇÃO DE  
TELECOMUNICAÇÕES**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**FELIPE MIGUEL NICOLINI DA SILVA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE  
MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA ABASTECER UMA ESTAÇÃO DE  
TELECOMUNICAÇÕES**

**Technical and Financial Feasibility Analysis of Implementing Photovoltaic  
Microgeneration to Power a Telecommunications Station**

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

Orientador: Prof. Dr. Murilo Oliveira Leme

**PONTA GROSSA**

**2023**



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

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

**FELIPE MIGUEL NICOLINI DA SILVA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE  
MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA ABASTECER UMA ESTAÇÃO DE  
TELECOMUNICAÇÕES**

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

Data de aprovação: 20/junho/2023

---

Murilo Oliveira Leme  
Título (Doutorado)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Sergio Okida  
Título (Doutorado)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Virgínia Helena Varotto Baroncini  
Título (Doutorado)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PONTA GROSSA  
2023**

Dedico este trabalho à minha família, pelos momentos de ausência, e por todo apoio e fé durante os últimos anos.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus e à Nossa Senhora por terem sido fundamentais em toda a minha trajetória no curso. Em momentos em que pensava em desistir, eles sempre me levantaram e me ajudaram a seguir em frente.

Nesta fase importante de conclusão do curso, gostaria de expressar minhas considerações e agradecimentos a algumas pessoas que tornaram esses longos anos um pouco mais leves.

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Murilo Oliveira Leme, por ter influenciado minha escolha de trabalhar com sustentabilidade e energias renováveis através de sua disciplina de Energia e Eficiência Energética. Além disso, agradeço por todo o apoio como orientador de estágio e por todas as assistências que precisei durante essa etapa.

Não menos importante, expresso minha gratidão aos meus amigos fiéis, Alessandro Ledesma, Emerson Gonçalves, Esther Sangali, Lucas Calligaris, Vitor Pagani e Wesley Alves. Entramos juntos na UTFPR e temos trabalhado em conjunto em todas as disciplinas desde o primeiro período do curso.

Agradeço também aos meus pais, Ricardo Angelo da Silva e Cirlene Rosana Nicolini da Silva, pelo apoio financeiro, moral e pela confiança constante em minha capacidade e responsabilidade. Da mesma forma, expresso meu agradecimento ao meu irmão, Angelo Ricardo Nicolini da Silva, por sempre acreditar em meu potencial e me dar forças para continuar.

Por fim, quero fazer um agradecimento especial à minha falecida avó, Maria Eugênia Zandonadi, que foi minha maior admiradora e nunca hesitou em me enaltecer. Um dos seus maiores sonhos era me ver formado. Mesmo que ela não esteja fisicamente presente hoje, ela permanece em meu coração e em minhas memórias.

A todos vocês, meu profundo reconhecimento e gratidão por terem sido partes essenciais dessa jornada.

Se deseja ter sucesso no que se propõe a fazer, então você só pode fazer o seu melhor, nada menos que o seu melhor (COLAMEGO, s.d.).

## RESUMO

Este estudo tem como objetivo realizar uma análise de viabilidade técnica e financeira para a implantação de uma usina de microgeração fotovoltaica para fornecer eletricidade a uma estação de propriedade de uma empresa de telecomunicações. Tendo em vista o compromisso da empresa com a sustentabilidade e sua integração nas operações, o objetivo é abordar a questão atual da escassez de energia quando a empresa de serviços públicos não consegue atender à demanda, e o banco de baterias existente nas estações ficam esgotados. Atualmente, em tais situações, um gerador a gasolina é utilizado como solução temporária, o que contradiz as práticas sustentáveis da empresa. Conseqüentemente, um estudo de viabilidade foi iniciado para incorporar uma solução de microgeração fotovoltaica em um local específico, com o objetivo de gerar energia mais limpa para atender à demanda durante o período de radiação solar e recarregar de forma sustentável as baterias.

**Palavras-chave:** microgeração fotovoltaica; viabilidade técnica; viabilidade financeira; sustentabilidade; integração operacional.

## ABSTRACT

This study aims to conduct a technical and financial feasibility analysis for the implementation of a photovoltaic microgeneration plant to provide electricity to a telecommunications company-owned station. Considering the company's commitment to sustainability and its integration into operations, the objective is to address the current issue of energy scarcity when the public utility company fails to meet the demand and the existing station battery banks are depleted. Currently, in such situations, a gasoline generator is used as a temporary solution, which contradicts the company's sustainable practices. Consequently, a feasibility study has been initiated to incorporate a photovoltaic microgeneration solution at a specific location, with the aim of generating cleaner energy to meet the demand during the solar radiation period and sustainably recharge the batteries.

**Keywords:** photovoltaic microgeneration; technical feasibility; financial feasibility; sustainability; operational integration.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 – 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)</b> . . . . .	<b>14</b>
<b>Figura 2 – Possibilidades do Sistema Fotovoltaico</b> . . . . .	<b>24</b>
<b>Figura 3 – Off-Grid e On-Grid</b> . . . . .	<b>27</b>
<b>Figura 4 – Tipos de células fotovoltaicas</b> . . . . .	<b>28</b>
<b>Figura 5 – Monocristalino</b> . . . . .	<b>29</b>
<b>Figura 6 – Conexão dos equipamentos fotovoltaicos ao controlador MPPT</b> . . . . .	<b>31</b>
<b>Figura 7 – Equipamentos da estação GNE</b> . . . . .	<b>35</b>
<b>Figura 8 – Quadro de Distribuição Geral (QDG)</b> . . . . .	<b>36</b>
<b>Figura 9 – Fonte de Corrente Contínua (FCC)</b> . . . . .	<b>37</b>
<b>Figura 10 – Unidades Retificadoras (URs)</b> . . . . .	<b>38</b>
<b>Figura 11 – Controladora</b> . . . . .	<b>38</b>
<b>Figura 12 – Alarmes da Controladora</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>Figura 13 – Banco de Baterias</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>Figura 14 – Sistema Off-Grid</b> . . . . .	<b>41</b>
<b>Figura 15 – Tensão</b> . . . . .	<b>43</b>
<b>Figura 16 – Corrente</b> . . . . .	<b>43</b>
<b>Figura 17 – Irradiação Solar no Plano Horizontal</b> . . . . .	<b>44</b>
<b>Figura 18 – Irradiação Solar no Plano Inclinado</b> . . . . .	<b>44</b>
<b>Figura 19 – Contêiner</b> . . . . .	<b>47</b>
<b>Figura 20 – Tarifas aplicadas ao grupo B3 - Comercial</b> . . . . .	<b>51</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Classificação de Geração Distribuída . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 2 – Grupo A - Subgrupos . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 3 – Grupo B - Subgrupos . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 4 – Tarifas horassazonais . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 5 – Quadro de Distribuição Geral (QDG) . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 6 – Circuitos e equipamentos . . . . .</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 7 – Banco de Baterias . . . . .</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 8 – Potência Real . . . . .</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 9 – Orçamento da usina Fotovoltaica . . . . .</b>	<b>50</b>
<b>Tabela 10 – Economia Fatura . . . . .</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 11 – Fluxo de Caixa Simples . . . . .</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 12 – Análise Financeira . . . . .</b>	<b>53</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Siglas

A	<i>Ampere</i>
ADSL	Linha Digital Assimétrica para Assinante, do inglês <i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
Ah	Ampère-hora
AMPS	Sistema Avançado de Telefonia Móvel, do inglês <i>Advanced Mobile Phone System</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CBT	Código Brasileiro de Telecomunicações
CC	Corrente Contínua
CCC	Central de Comutação e Controle
CDMA	Acesso Múltiplo por Divisão de Código, do inglês <i>Code Division Multiple Access</i>
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CO	Monóxido de Carbono
COP21	Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas
EE	Eficiência Energética
EM's	Estações Móveis
ERB	Estações Rádio Base
ESG	Ambiental, Social e Governança, do inglês <i>Environmental, Social, and Corporate Governance</i>
FCC	Fonte de Corrente Contínua
GMG	Grupo Motor Gerador
GPS	Sistema de Posicionamento Global, do inglês <i>Global Positioning System</i>

GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
HC	Hidrocarbonetos
IEA	Agência Internacional de Energia
IoT	Internet das Coisas, do inglês <i>Internet of Things</i>
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWh/m <sup>2</sup>	Quilowatt-hora/metro quadrado
kWp	Quilowatt-pico
LGT	Lei Geral de Telecomunicações
m	Metro
MCom	Ministério das Comunicações
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Material Particulado
MPPT	Acompanhamento do Ponto de Máxima Potência, do inglês <i>Maximum Power Point Tracking</i>
MSC	Centro de Comutação Móvel, do inglês <i>Mobile Switching Center</i>
MW	Megawatt
m <sup>2</sup>	Metro Quadrado
n	Semicondutor tipo n
NOx	Óxidos de Nitrogênio
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
p	Semicondutor tipo p
p-n	Junção p-n
PBE-FV	Programa Brasileiro de Etiquetagem para Equipamentos de Sistemas Fotovoltai- cos

PDE2030	Plano Decenal de Energia 2030
PNE2030	Plano Nacional de Energia 2030
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PRSA	Política de Responsabilidade Social
PWM	Modulação por Largura de Pulso, <i>Pulse Width Modulation</i>
QDG	Quadro de Distribuição Geral
SOx	Óxidos de Enxofre
STFC	Serviço Telefônico Fixo Comutado
TDMA	Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo, do inglês <i>Time Division Multiple Access</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
URs	Unidades Retificadoras
V	Volts
VPL	Valor Presente Líquido
VRLA	Chumbo Ácido Regulado por Válvula, do inglês <i>Valve Regulated Lead Acid</i>
W	Watt
Wp	Watt-pico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>15</b>
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	16
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do trabalho</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Histórico do sistema de telecomunicações no Brasil</b>	<b>18</b>
2.1.1	Setor de telecomunicações no Brasil	19
<b>2.2</b>	<b>Estrutura do sistema de telecomunicações</b>	<b>20</b>
2.2.1	Equipamentos do sistema de telecomunicações	21
<b>2.3</b>	<b>Energia Solar Fotovoltaica</b>	<b>22</b>
<b>2.4</b>	<b>Sistema Fotovoltaico</b>	<b>23</b>
2.4.1	Sistema On-Grid	24
2.4.2	Sistema Off-Grid	25
2.4.3	Componentes de um sistema fotovoltaico	26
2.4.4	Painéis Fotovoltaicos	27
<u>2.4.4.1</u>	<u>Painéis Monocristalinos</u>	28
<u>2.4.4.2</u>	<u>Painéis Policristalinos</u>	29
<u>2.4.4.3</u>	<u>Painéis Amorfos</u>	29
2.4.5	Controladores de Carga	30
2.4.6	Banco de Baterias	31
<b>2.5</b>	<b>Geração Distribuída</b>	<b>32</b>
<b>2.6</b>	<b>Estrutura Tarifária</b>	<b>32</b>
2.6.1	Grupo A	33
2.6.2	Grupo B	33
2.6.3	Tarifa Horassazonais Azul	34
2.6.4	Tarifa Horassazonais Verde	34
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>35</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição da estação da empresa</b>	<b>35</b>

3.1.1	Equipamentos da estação GNE . . . . .	35
3.1.1.1	Sistema de entrada de energia . . . . .	35
3.1.1.2	Sistema de retificação e FCC . . . . .	37
3.1.1.3	Controladora . . . . .	38
3.1.1.4	Sistema de armazenamento de energia . . . . .	40
<b>3.2</b>	<b>Dimensionamento do sistema fotovoltaico . . . . .</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Materiais . . . . .</b>	<b>42</b>
4.1.1	Potência real da estação . . . . .	42
4.1.2	Irradiação Solar na estação . . . . .	44
<b>4.2</b>	<b>Métodos . . . . .</b>	<b>44</b>
4.2.1	Dimensionamento da microgeração isolada . . . . .	45
4.2.1.1	Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos . . . . .	45
4.2.1.2	Seleção do inversor . . . . .	46
<b>5</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise de Viabilidade Técnica e Financeira . . . . .</b>	<b>47</b>
5.1.1	Viabilidade Técnica . . . . .	47
5.1.2	Viabilidade Financeira . . . . .	49
5.1.3	Economia gerada pela geração distribuída . . . . .	50
5.1.4	Análise Econômica . . . . .	50
5.1.4.1	Caixa Simples . . . . .	51
5.1.4.2	Payback sobre o investimento . . . . .	51
5.1.4.3	Emissões de gases poluentes . . . . .	53
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, o governo brasileiro tem se empenhado na construção de uma sólida estrutura de ações e programas voltados para eficiência energética, bem como na implementação de instrumentos legais e regulatórios. A inserção da eficiência energética no planejamento do setor energético é uma prioridade, evidenciada nos planos decenais, como o Plano Decenal de Energia 2030 (PDE2030) e o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE2030) (SANTOS; HADDAD; BAJAY, 2021).

O Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) estabeleceu medidas de Eficiência Energética (EE) com base nas metas propostas no PNE2030, representando um marco consistente publicado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em 2011. No caso específico da energia elétrica, foi prevista a possibilidade de uma economia de 10% no consumo, equivalente a 106.623 Gigawatt-hora (GWh), em relação à projeção de demanda. Essa economia envolve ações relacionadas ao Progresso Tendencial e Induzido de EE (Ministério de Minas e Energia, 2021).

No Brasil, desde 2014, instituições financeiras e outras organizações autorizadas a funcionar no país pelo Banco Central do Brasil, são obrigadas a ter uma Política de Responsabilidade Social (PRSA), conforme a resolução nº 4.327 (Banco Central do Brasil, 2014). Esse movimento reflete o interesse crescente em incorporar fatores ambientais, sociais e de governança corporativa nos investimentos, tanto na alocação de recursos em portfólios alinhados aos critérios Ambiental, Social e Governança, do inglês *Environmental, Social, and Corporate Governance* (ESG), quanto na adoção de práticas ESG pelas próprias empresas (VIEIRA, 2022).

Em 2015, foram estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que fazem parte da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, adotado por 193 países. Através da figura 1 pode-se observar todos os objetivos, em especial o sétimo ODS, que trata especificamente de Energia Limpa e Acessível, como intuito de garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos, refletindo um compromisso global com a sustentabilidade e o desenvolvimento equitativo (EPE, 2021).

**Figura 1 – 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)**



Fonte: (EPE, 2021).



Ainda em 2015, durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21) foi assinado o Acordo de Paris por 196 nações, com o propósito de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2°C até o ano de 2100 (SANTOS; HADDAD; BAJAY, 2021).

Apesar da sustentabilidade ter se tornado uma tendência inovadora e competitiva no mercado atual, apenas uma parcela limitada de empresas no Brasil possui uma área dedicada às questões ESG, e uma porcentagem ainda menor possui documentos voltados para essas questões (VIEIRA, 2022).

A implementação de práticas ESG em empresas brasileiras requer estratégias adequadas, estruturação, planos de ação e um monitoramento eficiente. Além dos benefícios para o meio ambiente, essas práticas trazem vantagens para as próprias empresas, que podem melhorar seus processos de forma mais sustentável e obter avaliações positivas no mercado financeiro.

A empresa de telecomunicações em foco está alinhada com as práticas de sustentabilidade e ESG. Nesse contexto, identificou-se uma oportunidade de substituir um procedimento atualmente adotado quando há interrupção no fornecimento de energia pela concessionária nas estações da empresa, por uma solução mais sustentável.

Normalmente, quando ocorre a falta de energia, utiliza-se a carga das baterias presentes nas estações. Quando essas baterias estão descarregando, é necessário acionar um técnico que se desloca até o local com um gerador a gasolina para recarregar as baterias.

No entanto, esse processo de utilização de geradores a gasolina gera emissões de poluentes similares às de motores de veículos, afetando a qualidade do ar. As emissões desses geradores a gasolina são compostas por diversos gases tóxicos, como Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NOx), Hidrocarbonetos (HC), Óxidos de Enxofre (SOx), Material Particulado (MP), entre outros, que quando absorvidos pelo sistema respiratório, têm efeitos negativos na saúde humana (CETESB, 2023).

Diante desse cenário, foi realizado um estudo abrangendo aspectos técnicos e financeiros para a implantação de uma microgeração fotovoltaica em uma estação da empresa de telecomunicações em questão. Essa solução visa eliminar a necessidade de utilização dos geradores a gasolina, proporcionando uma geração de energia mais eficiente e aproveitando as variações de irradiação solar e temperatura (GONÇALVES *et al.*, 2016).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Análise de viabilidade técnica e financeira para a implantação de uma usina de microgeração fotovoltaica visando alimentar uma estação de uma empresa de telecomunicações.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Realizar uma investigação detalhada da estrutura e dos processos internos das estações da empresa de telecomunicações, a fim de identificar práticas que possam entrar em conflito com os princípios de sustentabilidade.
2. Realizar uma análise da viabilidade técnica e financeira da implantação de uma usina de microgeração fotovoltaica para suprir a demanda energética de uma estação da empresa.
3. Aprofundar o conhecimento sobre a configuração e o funcionamento de uma estação, a fim de avaliar de forma mais precisa as necessidades de energia e a viabilidade da adoção da microgeração fotovoltaica.
4. Estimar os custos envolvidos quando ocorre falta de energia na estação, levando em consideração tanto os gastos com geradores a gasolina quanto as perdas decorrentes das interrupções no fornecimento elétrico, a fim de comparar com os potenciais benefícios econômicos proporcionados pela microgeração fotovoltaica.
5. Identificar o número de usuários atendidos pela estação em questão, analisando a importância estratégica desses locais para o suporte e a comunicação da empresa de telecomunicações.

Os objetivos acima mencionados têm como propósito realizar uma análise abrangente da viabilidade técnica e financeira da implantação de uma usina de microgeração fotovoltaica em uma estação de uma empresa de telecomunicações. Essa análise abrangerá aspectos operacionais e econômicos relevantes para auxiliar na tomada de decisão.

## 1.2 Justificativa

A análise de viabilidade técnica e financeira abordada neste estudo possui uma relevância significativa para viabilizar a geração de energia limpa e a alimentação das estações da empresa. Não obstante, busca-se promover a eficiência energética dos equipamentos e contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, adotando práticas mais sustentáveis e alinhadas aos princípios de ESG. Essa justificativa fundamenta-se na importância de adotar soluções de energia renovável, visando a sustentabilidade e o respeito ao meio ambiente, ao mesmo tempo em que fortalece a reputação da empresa no que diz respeito à sua responsabilidade socioambiental.

### 1.3 Estrutura do trabalho

O Capítulo 2 contempla a fundamentação teórica do trabalho.

A seção 2.1 levanta todo o histórico do sistema de telecomunicações no Brasil, suas transformações e um detalhamento sobre o setor.

A seção 2.2 aborda sobre a estrutura do sistema de telecomunicações e a viabilidade de implantação de uma microgeração fotovoltaica. Não obstante, levantar informações sobre os equipamentos e componentes que são necessários para um bom funcionamento de uma estação sem interrupção.

A seção 2.3 aborda sobre energia solar fotovoltaica, trazendo informações e explicações sobre o funcionamento e geração desse tipo de energia.

A seção 2.4 aborda sobre o sistema fotovoltaico, tipos, componentes e equipamentos.

Nessa linha de raciocínio, o Capítulo 3 contempla todo o estudo de caso realizado durante o estudo.

A seção 3.1 contempla a descrição da estação analisada e seus equipamentos presentes.

A seção 3.2 detalha o dimensionamento do sistema fotovoltaico, potência real da estação, irradiação solar, bem como o dimensionamento da microgeração, módulos fotovoltaicos e seleção do inversor.

No Capítulo 4 tem-se os materiais e métodos realizados durante o estudo.

O Capítulo 5 expõe todos os resultados gerados por esse estudo realizado, com a análise de viabilidade técnica e financeira para a implantação da microgeração, economia e retorno do investimento.

Por fim, no Capítulo 6 tem-se a conclusão do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Histórico do sistema de telecomunicações no Brasil

De acordo com a Lei nº 4.117, assinada em 27 de agosto de 1962 e referenciada por (MCOM, 2022), foi estabelecido o Código Brasileiro de Telecomunicações (CBT) que institucionalizou o processo das telecomunicações no Brasil. Essa legislação definiu os serviços de telecomunicações como a transmissão, emissão ou recepção de símbolos, caracteres, sinais, escritos, imagens, sons ou informações de qualquer natureza, por rádio, eletricidade, meios ópticos ou qualquer outro processo eletromagnético.

O período de 1962 a 1985 foi marcado pela elaboração e aprovação do CBT, assim como pela criação e desenvolvimento do Sistema TELEBRÁS como uma *holding* estatal. Estabelecido em 1972, o Sistema TELEBRÁS era composto por 22 empresas subsidiárias e 4 associadas, sob o controle do Ministério das Comunicações (MCom). Seu objetivo principal era coordenar e planejar as telecomunicações. A TELEBRÁS contava com recursos como autofinanciamento, Fundo Nacional de Telecomunicações e recursos próprios provenientes da atividade econômica, além de recursos de terceiros por meio de empréstimos. No entanto, os anos de 1985 a 1990 foram desafiadores para o setor de telecomunicações devido à inflação, baixos níveis de investimento e dificuldades na captação de recursos para investimentos (KESTELMAN, 2002).

Posteriormente, o Brasil optou pela privatização do Sistema TELEBRÁS, o que atraiu grandes investidores do setor. Essa medida foi acompanhada de metas ambiciosas, enfatizando a expansão das redes de telefonia fixa e celular, venda do controle de estatais com patrimônios consideráveis e licenças para operar telefonia móvel em diferentes faixas de frequência (KESTELMAN, 2002).

Conforme mencionado por (BOECHAT, 2015), a introdução dos telefones móveis no Brasil ocorreu em 1990, quando a Telerj instalou 30 estações rádio base no estado do Rio de Janeiro, com capacidade para 10 mil terminais de acesso. A implantação inicial da banda A foi baseada na tecnologia Sistema Avançado de Telefonia Móvel, do inglês *Advanced Mobile Phone System* (AMPS), que representou a primeira geração da telefonia móvel, conhecida como 1G, e foi desenvolvida nos Estados Unidos em 1979. Vale ressaltar que a cidade de São Paulo foi a última a adotar esse sistema, operado pela Telesp Celular, por volta de meados de 1993.

A operação e manutenção do sistema de banda A apresentava um alto custo, e devido à falta de disponibilidade de acesso, uma geração superior, conhecida como banda B, foi introduzida nos anos seguintes. A banda B foi implementada no país em 1997, antes mesmo da privatização da TELEBRÁS no ano seguinte. Essa nova tecnologia utilizava os padrões Acesso Múltiplo por Divisão de Código, do inglês *Code Division Multiple Access* (CDMA) e Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo, do inglês *Time Division Multiple Access* (TDMA) e também possuía uma concessão privada (BOECHAT, 2015).

Em 16 de julho de 1997, por meio da Lei nº 9.472, conhecida como Lei Geral de Telecomunicações (LGT), encerrou-se o ciclo de atuação baseado no CBT vigente desde 1962. A LGT introduziu um novo modelo institucional, estabelecendo a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) como uma entidade reguladora independente. A ANATEL definiu novas regras rigorosas para garantir a satisfação dos usuários, estabelecendo metas para as operadoras e exercendo fiscalização ativa, inclusive com medidas punitivas, quando necessário. A LGT também eliminou as concessões gratuitas e promoveu a privatização do Sistema TELEBRÁS, restringindo a atuação do Estado brasileiro ao papel de órgão regulador e fiscalizador, deixando de operar todos os serviços de telecomunicações (KESTELMAN, 2002).

A ANATEL foi instalada em 5 de novembro de 1997, antes da privatização, com o objetivo de preparar o sistema. A agência assinou contratos de concessão com metas de qualidade e universalização com as operadoras estatais, que posteriormente foram transferidas para as empresas privatizadas (KESTELMAN, 2002).

Em 1997, teve início o processo de privatização, com a venda de autorizações para exploração da banda B da telefonia móvel celular em três áreas do território nacional e a assinatura dos dois primeiros contratos de concessão (KESTELMAN, 2002).

O modelo estatal de gestão das telecomunicações foi finalmente encerrado em 29 de julho de 1998, por meio do leilão do Sistema TELEBRÁS. Nesse leilão, as empresas que compunham o Sistema Nacional de Telecomunicações foram privatizadas. O leilão ocorreu na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro e foi dividido em blocos. No primeiro bloco, foram negociadas três grandes regiões de concessão, além de uma licença para todo o território nacional, a cargo da Embratel. Foram vendidas as três empresas de telefonia fixa - Telesp, Tele Centro-Sul e Tele Norte-Leste - e a Embratel, seguindo essa ordem (KESTELMAN, 2002).

No segundo bloco, ocorreu o leilão das empresas celulares do Sul e Sudeste, enquanto no terceiro e último bloco foram leiloadas as empresas celulares do Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Surgiram novas operadoras para operar na banda B, banda A e telefonia pública fixa, entre outras, mediante concessões estabelecidas pela nova lei (KESTELMAN, 2002).

### 2.1.1 Setor de telecomunicações no Brasil

A evolução das tecnologias de telecomunicação tem sido impulsionada pelo processo de globalização, proporcionando ao longo dos anos melhor qualidade, velocidade de conexão e estabilidade para os usuários. No Brasil, o mercado de telefonia móvel é composto por oito grupos de provedores de serviços, sendo que quatro deles detêm mais de 90% de participação de mercado combinada (BOECHAT, 2015).

A empresa analisada em questão, iniciou sua trajetória no Brasil em 1998, estabelecendo-se inicialmente no estado de São Paulo e expandindo suas operações para outros estados a partir de 2006. Com um notável crescimento no país, tornou-se referência em

telecomunicações, oferecendo diversos serviços e fortalecendo sua presença no mercado brasileiro.

De acordo com (BOECHAT, 2015), como resultado da privatização do sistema de telecomunicações, as empresas provedoras do setor passaram por significativas transformações nos últimos anos, muitas delas se fundindo com outras para criar um número reduzido de concorrentes com maior relevância.

Não obstante, a empresa analisada realizou aquisições de outras empresas desde sua chegada ao Brasil, incorporando assim todos os clientes como parte de seu legado. Apesar dos desafios de altos impostos no setor, o mercado de telefonia móvel no Brasil continua a apresentar um crescimento expressivo (BOECHAT, 2015).

A empresa possui um forte foco na transformação digital, que está intrinsecamente enraizado em sua cultura e acredita no potencial da revolução tecnológica para proporcionar acessibilidade a todas as pessoas. Em um mercado dinâmico e altamente competitivo, a empresa tem enfrentado diversos desafios e mudanças ao longo de sua história. No entanto, tem demonstrado capacidade de adaptação e crescimento, oferecendo soluções de qualidade aos seus clientes e contribuindo para o desenvolvimento do setor de telecomunicações no Brasil e no mundo.

Atualmente, a adoção de práticas sustentáveis e responsáveis é uma preocupação crescente em empresas de diversos setores, incluindo o ramo das telecomunicações. A empresa em questão está comprometida em implementar ações voltadas para a sustentabilidade e o ESG, buscando fortalecer a conexão entre as pessoas e transformar o mundo em um lugar mais consciente e sustentável. Isso inclui a redução do consumo de água e energia, bem como o uso de fontes de energia renovável em suas operações.

## **2.2 Estrutura do sistema de telecomunicações**

A estrutura do sistema de telecomunicações é um conjunto de elementos que permitem a transmissão de informações entre diferentes pontos geográficos. Essa estrutura é complexa e envolve diversos elementos que trabalham juntos para garantir que as informações cheguem ao destino final com rapidez e eficiência.

Os softwares de gerenciamento são os programas responsáveis pelo gerenciamento da rede de telecomunicações. Eles permitem o controle e o monitoramento dos equipamentos e da rede em tempo real (ABNT, 2018).

A infraestrutura de suporte é composta por elementos como postes, torres de transmissão, cabos subterrâneos e outros dispositivos que garantem o funcionamento da rede de telecomunicações (MORAES, 2020).

Essa estrutura é fundamental para o funcionamento do sistema de telecomunicações, permitindo que as informações sejam transmitidas com rapidez e eficiência, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país. É importante destacar que essa estrutura está

em constante evolução, com o surgimento de novas tecnologias e aprimoramento das já existentes, o que permite uma comunicação cada vez mais rápida e eficiente entre as pessoas e as empresas.

De acordo com (LOPES, 2009), um sistema típico de telefonia móvel celular é composto principalmente pela Central de Comutação e Controle (CCC), Estações Rádio Base (ERB) e Estações Móveis (EM's). A CCC é responsável pela comutação e sinalização das estações móveis em uma área geográfica designada como área do Centro de Comutação Móvel, do inglês *Mobile Switching Center* (MSC). A principal diferença entre um MSC e uma central de comutação fixa é que o MSC precisa considerar a mobilidade dos assinantes, incluindo a transferência da comunicação quando eles se movem de uma célula para outra. O MSC responsável pelo roteamento de chamadas para outras centrais de comutação móvel é chamado de *Gateway MSC* (HONORATO, 2019).

A ERB é o termo usado em um sistema de telefonia celular para se referir à estação fixa com a qual os terminais móveis se comunicam. A ERB está conectada à CCC, que tem interconexão com o Serviço Telefônico Fixo Comutado (STFC) e outras CCC, permitindo chamadas entre os terminais celulares e telefones fixos convencionais (HONORATO, 2019).

Em resumo, o sistema de telecomunicações é um conjunto complexo de equipamentos, softwares e serviços que trabalham juntos para permitir a transmissão de informações em tempo real. Cada elemento é essencial para o funcionamento da rede, garantindo que as informações cheguem ao destino final, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país.

### 2.2.1 Equipamentos do sistema de telecomunicações

Pode-se classificar os equipamentos do sistema de telecomunicações em quatro categorias principais: transmissão, comutação, acesso e terminais.

Os equipamentos de transmissão são responsáveis por enviar informações de um ponto a outro da rede e podem ser cabos, antenas ou satélites, dependendo da tecnologia utilizada (MORAES, 2020). Entre os equipamentos de transmissão mais comuns estão os modems, que são utilizados para conectar os dispositivos de rede à internet por meio da linha telefônica. Além disso, os equipamentos de transmissão incluem também os roteadores, que permitem a conexão entre redes diferentes (MORAES, 2020).

Já os equipamentos de comutação são responsáveis por direcionar as informações para o destino correto. A central telefônica é um exemplo de equipamento de comutação e é o ponto central de gerenciamento da rede de telecomunicações, onde são concentradas as ligações telefônicas e os dados transmitidos pela rede (MORAES, 2020).

Os equipamentos de acesso, por sua vez, fazem a conexão entre os usuários e a rede de telecomunicações. Essa rede pode ser composta por cabos de fibra óptica, fios de cobre ou por tecnologias sem fio, como o Wi-Fi e o 4G (ABNT, 2018). Entre os equipamentos de acesso mais comuns estão os modems Linha Digital Assimétrica para Assinante, do inglês *Asymmetric*

*Digital Subscriber Line* (ADSL), que fazem a conexão entre o usuário e a linha telefônica, os switches e hubs, que permitem a conexão de diversos dispositivos de rede em uma única rede local, e os pontos de acesso Wi-Fi, que permitem a conexão sem fio entre dispositivos e a rede de telecomunicações (MORAES, 2020).

Por fim, os equipamentos terminais são utilizados pelos usuários para se conectarem à rede de telecomunicações. Os equipamentos terminais podem incluir telefones, computadores, tablets, smartphones, dentre outros (NETO, 2018). Ademais, os equipamentos terminais podem incluir também dispositivos Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), como sensores e atuadores, que são utilizados em aplicações de automação residencial e industrial.

É importante ressaltar que todos esses equipamentos trabalham em conjunto para garantir a eficiência do sistema de telecomunicações, permitindo a transmissão de informações com rapidez e segurança.

Não obstante, os sistemas de telecomunicações da empresa em questão e seus respectivos equipamentos precisam estar todos os dias funcionando sem nenhuma interrupção. Devido a esse viés, é necessário que todos os equipamentos estejam com manutenção em dia, bem alimentados, banco de baterias recarregados, sempre buscando uma qualidade dos serviços aos clientes.

### **2.3 Energia Solar Fotovoltaica**

A geração de energia através da luz solar no Brasil é de grande relevância, devido alto nível radiação solar. Segundo (MACHADO; MIRANDA, 2015), a irradiação média anual no Brasil varia entre 1200 a 2400 Quilowatt-hora/metro quadrado (kWh/m<sup>2</sup>) por ano. (BRAGA, 2008) relata que o Brasil é o país mais avançado da América do Sul, em relação a energias renováveis. Não obstante, foi o primeiro país do Terceiro Mundo a fabricar comercialmente a célula fotovoltaica, a partir do silício monocristalino.

A energia fotovoltaica é uma fonte de energia renovável e limpa, que tem como base a conversão direta da luz do sol em eletricidade. Esse processo é simples, sem emissão de gases poluentes ou ruídos e com uma mínima necessidade de manutenção (BRAGA, 2008). As células solares, responsáveis por essa conversão, são compostas por materiais semicondutores, como o silício, que possuem a propriedade de absorver fótons de luz solar e liberar elétrons. Esse processo de conversão é conhecido como efeito fotovoltaico.

Nesse sentido, o Programa Brasileiro de Etiquetagem para Equipamentos de Sistemas Fotovoltaicos (PBE-FV) passou por uma atualização recente. A Portaria Inmetro nº 140/2022 (INMETRO, 2022b), estabeleceu o aperfeiçoamento do regulamento técnico para equipamento de geração, condicionamento e armazenamentos de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos. Com a finalidade de proteger os consumidores e o mercado interno contra a presença de produtos inseguros e de baixa eficiência, foram estipulados critérios relacionados à segurança



elétrica, estabilidade da rede, qualidade energética, eficiência energética e compatibilidade eletromagnética para os dispositivos (INMETRO, 2022a).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2021 a geração de energia solar fotovoltaica no Brasil aumentou em 68,7%, totalizando 13.478 Megawatt (MW). A previsão da ANEEL para 2022 era de geração de 14.024 MW de energia solar (INMETRO, 2022a).

Nesse sentido, a energia fotovoltaica tem se mostrado uma opção viável para a geração de energia elétrica em todo o mundo, especialmente em países com alta incidência de radiação solar. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica em todo o mundo atingiu 627 Gigawatt (GW) em 2019, um aumento de mais de 20% em relação ao ano anterior. A IEA estima que a capacidade solar fotovoltaica global poderá atingir até 8.000 GW até 2050, caso haja políticas públicas adequadas e investimentos suficientes (IEA, 2020).

## 2.4 Sistema Fotovoltaico

Um Sistema Fotovoltaico ou uma Microgeração Fotovoltaica, é basicamente a energia solar em Corrente Alternada sendo convertida em energia elétrica de Corrente Contínua através células fotovoltaicas. O princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica é baseado no efeito fotoelétrico (CONFESSOR *et al.*, 2014).

De maneira simples, quando a luz solar incide sobre os painéis fotovoltaicos, alguns fótons são absorvidos e a energia dele é transferida para um elétron em um átomo da célula obrigando-o a se deslocar da sua posição inicial no material tipo Semicondutor tipo n (n), criando uma lacuna no átomo (CONFESSOR *et al.*, 2014). Não obstante, essa configuração são da primeira geração de células fotovoltaicas, que consistem na junção Junção p-n (p-n) simples de material cristalino que seja capaz de produzir a energia elétrica. Na segunda geração é baseada no uso de semicondutores em cada célula.

A segunda geração das células fotovoltaicas temos alguns pequenos depósitos de semicondutores em cada célula, existindo dois tipos: o espacial e o terrestre, sendo a espacial com o maior rendimento porém alto custo de produção, e a terrestre com um menor rendimento mas um custo mais baixo de produção.

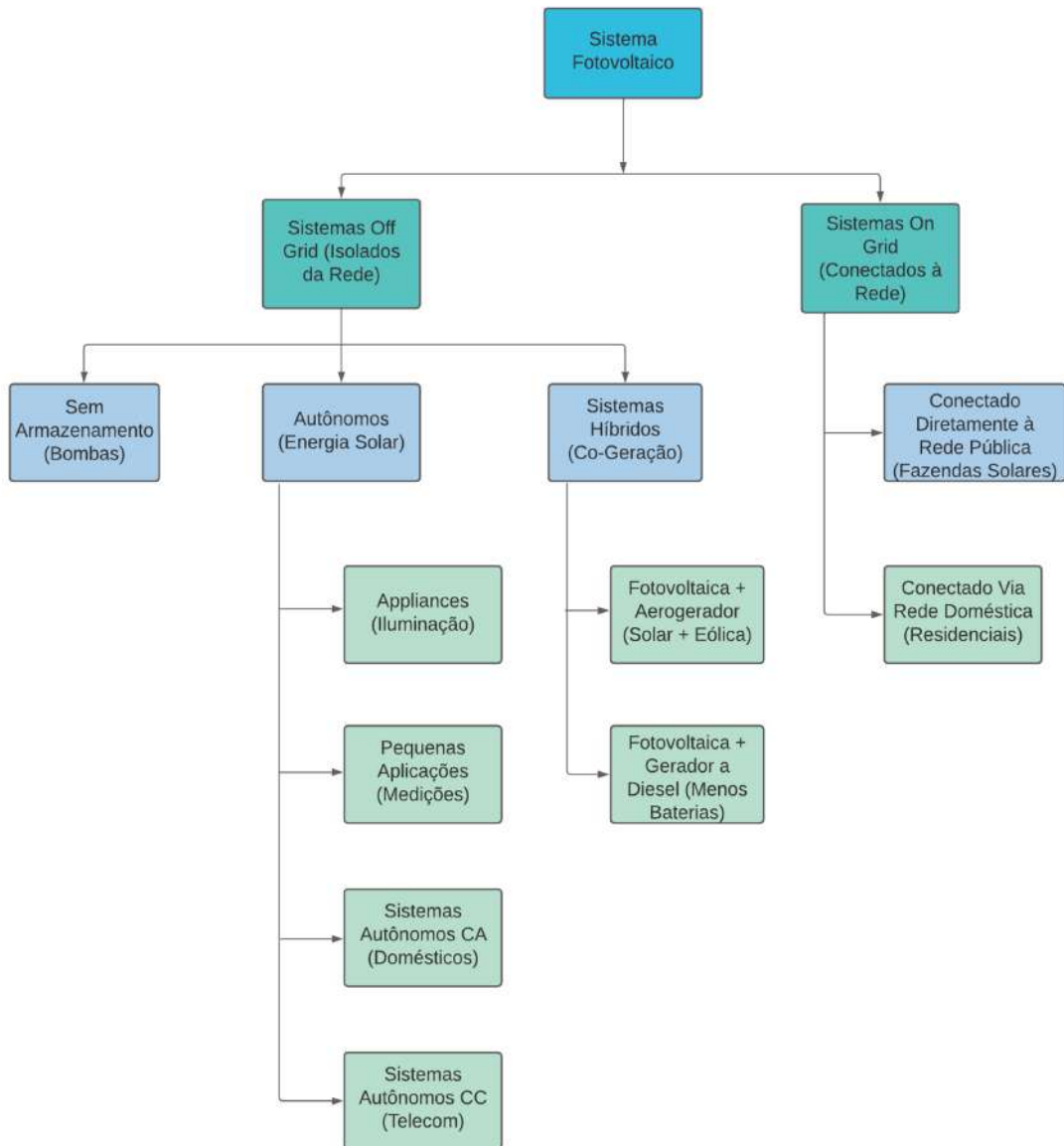
Já na terceira geração das células fotovoltaicas incluem aplicações espaciais em desenvolvimento com dispositivos à base de nanotubos de carbono, e a terrestre estão em desenvolvimento células solares de efeito foto eletroquímica, à base de polímeros e micro cristais (HONORATO, 2019).

Em projetos de dimensionamento de um sistema fotovoltaico, a primeira pergunta a ser feita é se o sistema será conectado à rede elétrica pública ou operará de forma independente. Os sistemas que estão conectados à rede elétrica pública são chamados de *On-Grid* e os que operam de forma independente conhecidos como *Off-Grid* (Portal Energia Brasil, 2023).

Cada um desses sistemas possui suas vantagens e desvantagens, e a escolha entre eles depende das necessidades específicas de cada instalação, levando em consideração também o aspecto financeiro (Portal Energia Brasil, 2023).

Na Figura 2 é possível observar todo esquemático das possibilidades nos sistemas fotovoltaicos *Off-Grid* e *On-Grid*.

**Figura 2 – Possibilidades do Sistema Fotovoltaico**



Fonte: Adaptado de (EXSTO, 2023).

#### 2.4.1 Sistema On-Grid

Também conhecidos como sistemas *Grid-Tie*, os sistemas *On-Grid* estão conectados à rede elétrica pública. Esses sistemas são mais eficientes em comparação com os sistemas

*Off-Grid* e não requerem o uso de baterias ou controladores de carga, o que resulta em um custo mais baixo (Portal Energia Brasil, 2023).

No caso dos sistemas *On-Grid*, os inversores desempenham a função de converter a Corrente Contínua (CC) gerada pelos painéis solares em Corrente Alternada (CA) e também de sincronizar o sistema com a rede elétrica pública. Isso significa que toda a energia produzida pelo sistema, mas não consumida imediatamente, é enviada de volta para a rede elétrica. Esse excedente de energia é convertido em créditos de energia, os quais podem ser utilizados em momentos em que a demanda é maior do que a produção, dentro de um período de até 36 meses (Portal Energia Brasil, 2023).

Essencialmente, o sistema *On-Grid* funciona como se a rede elétrica pública fosse o reservatório de energia do sistema *Off-Grid*. Embora a residência ou empresa ainda utilize a energia da rede convencional, há uma redução na conta de energia, sendo necessário pagar apenas a diferença entre a energia consumida e a energia produzida pelo sistema fotovoltaico (Portal Energia Brasil, 2023).

Os sistemas *On-Grid* são regulamentados pela resolução normativa nº 482 da ANEEL, que estabelece as regras para o mecanismo de compensação de energia (Portal Energia Brasil, 2023).

#### 2.4.2 Sistema Off-Grid

Os sistemas *Off-Grid* são independentes e não requerem conexão com a rede elétrica pública. Eles consistem em painéis solares, cabos, suportes (que compõem o conjunto de geração de energia), inversores e controladores de carga (que compõem o conjunto de controle de potência) e baterias (Portal Energia Brasil, 2023).

Esses sistemas são frequentemente utilizados em locais remotos ou para aplicações específicas, como bombeamento de água, eletrificação de cercas e postes de luz. Os sistemas de menor porte têm uma capacidade de energia que varia de 1,5 Quilowatt-pico (kWp) a 20 kWp, enquanto os sistemas maiores variam de 20 kWp a 1 kWp (Portal Energia Brasil, 2023).

O excesso de energia gerado pelos painéis solares é armazenado nas baterias e utilizado durante os períodos com pouca ou nenhuma exposição solar, como durante a noite. Portanto, é essencial adquirir baterias com capacidade de armazenamento adequada, levando em consideração a demanda de energia e as condições climáticas locais. Em áreas com menor incidência solar, é necessário ter uma capacidade de armazenamento maior (Portal Energia Brasil, 2023).

### 2.4.3 Componentes de um sistema fotovoltaico

O painel fotovoltaico é o principal componente do sistema. Ele é responsável por captar a radiação solar e convertê-la em energia elétrica. Os painéis são compostos por células fotovoltaicas, que são feitas de silício e possuem uma camada de vidro temperado que protege as células da chuva, granizo e outros elementos climáticos.

O controlador de carga é um equipamento que regula a carga da bateria, evitando que ela seja sobrecarregada ou descarregada em excesso. Ele também monitora a corrente e a tensão do sistema para garantir a eficiência da carga da bateria.

As baterias são responsáveis por armazenar a energia elétrica gerada pelos painéis solares. Existem diversos tipos de baterias disponíveis no mercado, como as de chumbo-ácido, de lítio e de níquel-cádmio, entre outras. As baterias de chumbo-ácido são as mais comuns, devido ao seu baixo custo e alta capacidade de armazenamento de energia.

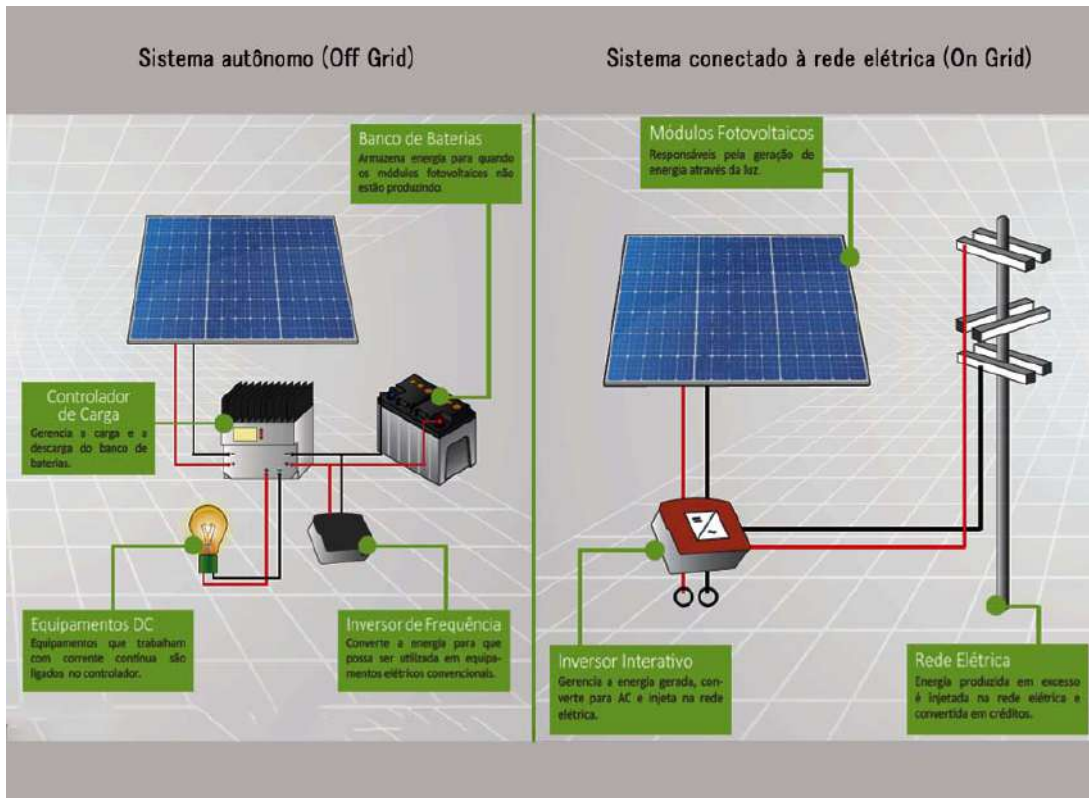
O inversor é o componente responsável por converter a corrente contínua gerada pelos painéis solares em corrente alternada, que é utilizada pelos aparelhos elétricos e eletrônicos. Ele também controla a voltagem e a frequência da corrente elétrica.

O quadro de distribuição é o responsável por distribuir a energia elétrica para os pontos de consumo da residência ou estabelecimento. Ele é composto por disjuntores, que são responsáveis por proteger a instalação elétrica contra curtos-circuitos e sobrecargas elétricas.

O aterramento é um componente essencial para garantir a segurança do sistema fotovoltaico. Ele é responsável por direcionar eventuais descargas elétricas para a terra, evitando choques elétricos em pessoas e animais.

Na figura 3 é possível observar os componentes de um sistema fotovoltaico *Off-Grid* e *On-Grid*.

Figura 3 – Off-Grid e On-Grid



Fonte: (Portal Energia Brasil, 2023).

#### 2.4.4 Painéis Fotovoltaicos

A energia solar é uma das formas mais populares e sustentáveis de geração de energia limpa e renovável. A tecnologia fotovoltaica, que converte a energia solar em eletricidade por meio de painéis solares, tem evoluído rapidamente nos últimos anos, permitindo que mais pessoas e empresas aproveitem seus benefícios.

Os painéis fotovoltaicos são compostos de células solares, que são feitas de materiais semicondutores, como o silício. Quando a luz solar atinge as células solares, elas liberam elétrons que são capturados e transformados em eletricidade.

Embora os painéis solares possam ter um alto custo inicial, eles oferecem muitos benefícios a longo prazo, incluindo economia de energia e redução nas emissões de carbono, que se enquadram nas práticas de sustentabilidade e ESG. Além disso, a tecnologia está cada vez mais acessível e popular, tornando-se uma opção viável para muitas pessoas e empresas que desejam adotar fontes de energia limpas e renováveis.

Existem vários tipos de painéis solares, mas os mais comuns são os painéis Monocristalinos, Policristalinos e Amorfos. Cada tipo de painel tem suas próprias características e vantagens, e a escolha do tipo de painel depende das necessidades específicas de cada caso.

De acordo com as atualizações da Portaria Inmetro nº 140/2022 (INMETRO, 2022b), tem-se a ampliação do escopo da regulamentação incluindo painéis de silício e filmes finos acima de 5 Watt-pico (Wp).

Uma outra atualização relevante foi com o objetivo de acompanhar o progresso do mercado e garantir a precisão na classificação de eficiência energética dos módulos fotovoltaicos. No regulamento anterior, as faixas de classificação estavam desatualizadas, com módulos de silício alcançando eficiências de apenas 13,5% e filmes finos atingindo 9,5%. Levando em consideração os avanços tecnológicos e a realidade da indústria fotovoltaica, decidiu-se unificar as tabelas de classificação para todas as tecnologias. A classe A foi definida para módulos com eficiência acima de 20% e a classe E para módulos com eficiência abaixo de 14%. Essa atualização tem como objetivo proporcionar informações mais precisas aos usuários, incentivar avanços tecnológicos e melhorar a eficiência dos produtos (INMETRO, 2022a).

Na figura 4 é possível observar cada um dos tipos acima mencionados.

**Figura 4 – Tipos de células fotovoltaicas**

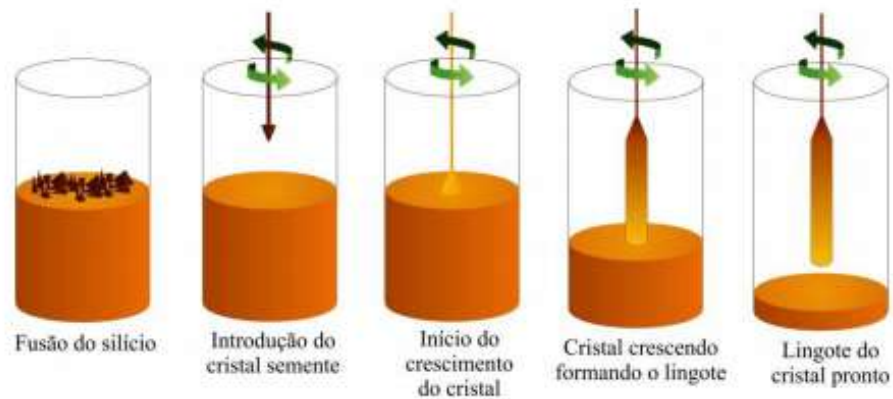


Fonte: (SERRANO, 2017).

#### 2.4.4.1 Painéis Monocristalinos

Os Painéis Monocristalinos são feitos de um único cristal de silício, mergulhado em silício fundido. Durante o crescimento, o cristal recebe pequenas quantidades de boro formando um semicondutor dopado do tipo Semicondutor tipo p (p) como visto na figura 5, e em seguida é puxado pela haste formando um lingote de silício monocristalino do tipo p. O lingote preparado é cortado em finas fatias e levado para o forno de difusão, onde recebe a altas temperaturas, a dopagem com fósforo, formando assim a junção p-n (MACHADO; MIRANDA, 2015).

**Figura 5 – Monocristalino**



**Fonte: (MACHADO; MIRANDA, 2015).**

Com isso, pode-se dizer que os Painéis Monocristalinos se tornam mais uniformes em sua estrutura atômica. Essa uniformidade resulta em uma eficiência energética maior, pois a luz solar é melhor absorvida e convertida em eletricidade. Os painéis monocristalinos têm uma eficiência média de 12% a 15%, com o maior valor encontrado em laboratório de 25% (MACHADO; MIRANDA, 2015).

No entanto, os painéis monocristalinos também são mais caros de produzir e podem ser mais difíceis de fabricar em grandes quantidades, podendo custar mais que os painéis policristalinos (NERIS, 2021).

#### 2.4.4.2 Painéis Policristalinos

Os Painéis Policristalinos tem o silício líquido do tipo p resfriado, se formando em muitos cristais de silício fundidos juntos. Sua eficiência fica entre 11% a 14%, com o maior valor encontrado em laboratório de 19% (MACHADO; MIRANDA, 2015). Eles são um pouco menos eficientes do que os painéis monocristalinos, devido o silício puro ser um semicondutor intrínseco, mas são mais baratos e uma boa escolha para projetos de grande escala (NERIS, 2021).

A degradação dos cristais de silício diminui a sua eficiência comparado com o monocristalino, mas em questões financeiras de produção, ele é bem mais vantajoso, podendo ser utilizado substratos de baixo custo para depositar o material e fabricar materiais flexíveis e finos.

#### 2.4.4.3 Painéis Amorfos

Os Painéis Amorfos, ou de filme fino, são feitos de materiais semicristalinos e são mais leves e flexíveis do que outros tipos de painéis solares. Eles são frequentemente usados em aplicações onde a flexibilidade é importante, como em telhados curvos ou superfícies irregulares. No entanto, eles são menos eficientes do que os outros tipos de painéis e podem ter uma

vida útil mais curta. Os painéis amorfos têm uma eficiência média em laboratório de 12,5%, porém em larga escala possuem eficiência entre 6% a 9% (MACHADO; MIRANDA, 2015).

O amorfo tem suas células constituídas de silício amorfo, apresentando um produto final financeiramente mais barato devida a baixa utilização de energia em sua fabricação. Devido ao baixo custo financeiro, sua eficiência não é das melhores, sendo necessário grandes tamanhos para compensar a falta de eficiência (MACHADO; MIRANDA, 2015).

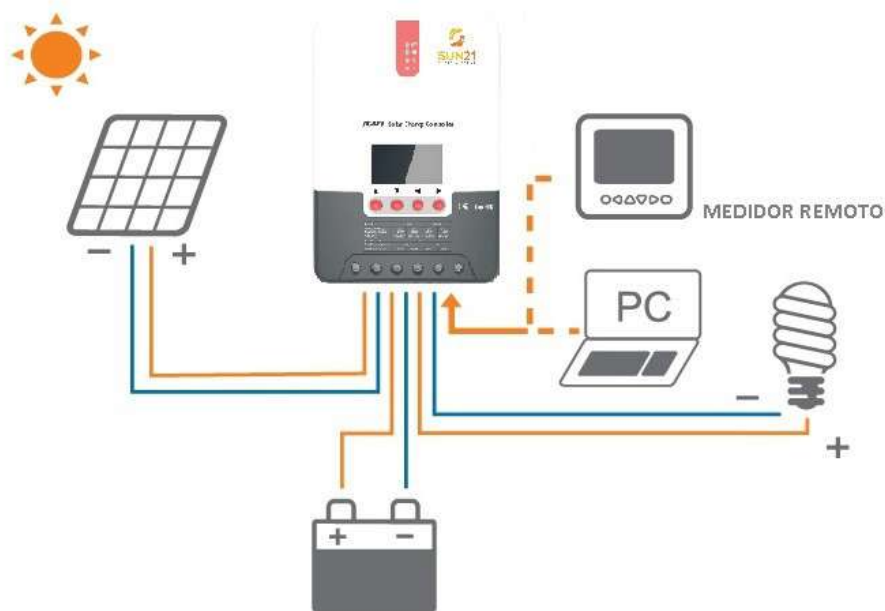
#### 2.4.5 Controladores de Carga

Sabe-se que o controlador de carga é um componente de extrema importância para um sistema de geração de energia fotovoltaica, o qual é o principal responsável pela vida útil dos bancos de baterias, devido ao fato de controlar as cargas e descargas das baterias de forma abrupta. De acordo com as atualizações da Portaria Inmetro nº 140/2022 (INMETRO, 2022b), tem-se a ampliação do escopo da regulamentação incluindo controladores Modulação por Largura de Pulso, *Pulse Width Modulation* (PWM) e Acompanhamento do Ponto de Máxima Potência, do inglês *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

Um controlador denominado MPPT tem alta eficiência de Corrente Contínua para conversores de Corrente Contínua. Como o objetivo é ter um bom aproveitamento da energia gerada, deve-se operar técnicas de controle de rastreamento no ponto de máxima potência. Por se tratar de geração de energia solar, depende-se bastante da irradiação durante o dia e condições ambientais. Associadas aos conversores em sistemas fotovoltaicos, essas técnicas monitoram a potência fornecida pelo módulo e garantem que sejam entregue à carga. Abaixo na figura 6 vemos um exemplo de conexão dos equipamentos fotovoltaicos a um controlador MPPT.



**Figura 6 – Conexão dos equipamentos fotovoltaicos ao controlador MPPT**



Fonte: (MINHA CASA SOLAR, 2022).

#### 2.4.6 Banco de Baterias

Uma bateria é composta por células em série, cada uma composta por dois eletrodos, um positivo e um negativo imersos em um meio eletrolítico (MATTOS, 2019).

Um banco de baterias consiste em armazenar energia elétrica em CC, na forma eletroquímica para utilizar em um outro momento. O gerenciamento da carga nesse banco é feito através de um controlador de carga, o qual sua função é gerenciar e controlar a partir de dados coletados, como a temperatura, tensão, corrente, com as quais consegue definir uma boa eficiência das baterias, estado de carga, saúde e dos equipamentos que estão sendo alimentados.

De acordo com as atualizações da Portaria Inmetro nº 140/2022 (INMETRO, 2022b), tem-se a ampliação do escopo da regulamentação incluindo baterias de chumbo e níquel.

A estrutura simplificada de como funciona a monitorização da descarga do banco de baterias nos armários, pode ser compreendida através da Fonte de Corrente Contínua (FCC) e suas Unidades Retificadoras (URs) que controlam essa descarga e a conexão e desconexão dos consumidores na energia. Temos que a FCC além de fornecer a potência para as cargas também irá controlar os eventos de carga e descarga do banco de baterias.

No geral, todos os equipamentos são alimentados com tensão de 48 Volts (V) e em CC. Antes da saída de energia, tem-se instalado um banco de baterias em CC para os consumidores, buscando a estabilização da tensão em falta de fase.

De fato, no momento que acontecer uma falta de energia por parte da concessionária, através de sensores as baterias serão acionadas e irão automaticamente alimentar as cargas necessárias por um período. Esse banco de baterias é essencial para que não haja interrupção em nenhum serviço da empresa, que possa deixar o cliente na mão.

## 2.5 Geração Distribuída

A Geração Distribuída é caracterizada pela produção de energia em proximidade ao local de consumo, trazendo vantagens para o sistema elétrico. Segundo a (ANEEL, 2023), desde a implementação da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, em 17 de abril de 2012, os consumidores brasileiros têm a possibilidade de gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Essa abordagem traz diversos benefícios, como investimentos na expansão das redes de transmissão e distribuição, a redução do impacto ambiental, a diminuição da carga nas redes, a minimização das perdas elétricas e a diversificação da matriz energética.

Os sistemas de geração distribuída podem ser classificados em três tipos, conforme apresentado na tabela 1.

**Tabela 1 – Classificação de Geração Distribuída**

<b>Classificação</b>	<b>Potência (kW)</b>
<b>Microgeração</b>	$P < 75$
<b>Minigerção</b>	$75 < P < 5000$
<b>Usinas</b>	$P > 5000$

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

## 2.6 Estrutura Tarifária

A Resolução nº 414/2010 da (ANEEL, 2023) estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. As empresas distribuidoras de energia elétrica prestam o serviço de fornecimento de energia por delegação da União na área em que receberam autorização para prestar o serviço público de distribuição. Com isso, para que seja possível selecionar a tarifa adequada, é necessário realizar um estudo do fator de carga da instalação e identificar os horários de uso da energia elétrica (CHAGAS; BOAVENTURA, 2021).

De acordo com a ANEEL, tem-se as seguintes classes de consumo:

- Residencial;
- Industrial;

- Comercial, serviços e outras atividades;
- Rural;
- Poder público;
- Iluminação pública;
- Serviço público;
- Consumo próprio.

Não obstante, o consumidor é classificado nos grupos A ou B, dependendo da tensão de fornecimento.

### 2.6.1 Grupo A

O Grupo A é composto por unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 KV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária (CHAGAS; BOAVENTURA, 2021). Ele é subdividido nos subgrupos apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Grupo A - Subgrupos**

<b>Subgrupo</b>	<b>Fornecimento</b>
<b>A1</b>	Maior ou igual a 230 kV
<b>A2</b>	88 kV a 138 kV
<b>A3</b>	69 kV
<b>A3a</b>	30 kV a 44 kV
<b>A4</b>	2,3 kV a 25 kV
<b>AS</b>	Inferior a 2,3 kV subterrâneo

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

### 2.6.2 Grupo B

O Grupo B é composto por unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 KV (CHAGAS; BOAVENTURA, 2021). Ele é subdividido nos subgrupos apresentados na Tabela 3.

No Grupo B, é notório a diferença entre os grupos B1 e B3, por serem de natureza jurídica, exigindo um Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) para que o consumidor se enquadre nessa categoria.

**Tabela 3 – Grupo B - Subgrupos**

<b>Subgrupo</b>	<b>Fornecimento</b>
<b>B1</b>	Residencial
<b>B2</b>	Rural
<b>B3</b>	Demais classes
<b>B4</b>	Iluminação pública

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

### 2.6.3 Tarifa Horassazonais Azul

A Tarifa Horassazonais Azul é marcada pela aplicação de tarifas diferenciadas, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, como tarifas diferenciadas de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (CHAGAS; BOAVENTURA, 2021). Para essa Tarifa é possível listar:

- Demanda: um preço para horário de ponta e um preço para horário fora de ponta;
- Consumo: um preço para horário de ponta em período seco, um preço para horário de ponta em período úmido, um preço para horário fora de ponta em período seco e um preço para horário fora de ponta em período úmido.

### 2.6.4 Tarifa Horassazonais Verde

A Tarifa Horassazonais Verde é marcada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia, levando em consideração as horas de utilização do dia e os períodos do ano, assim como uma única tarifa de demanda de potência (CHAGAS; BOAVENTURA, 2021). Para essa Tarifa é possível listar:

- Demanda: tarifa única para horário de ponta e fora de ponta;
- Consumo: um preço para horário de ponta em período seco, um preço para horário de ponta em período úmido, um preço para horário fora de ponta em período seco e um preço para horário fora de ponta em período úmido.

Na Tabela 4, é apresentado um resumo das tarifas mencionadas acima.

**Tabela 4 – Tarifas horassazonais**

	<b>Verde</b>	<b>Azul</b>
<b>Demanda</b>	Única	Ponta e Fora de Ponta
<b>Consumo</b>	Ponta e Fora de Ponta	Ponta e Fora de Ponta

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

### 3 ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Descrição da estação da empresa

Conforme mencionado anteriormente, a continuidade na prestação deste serviço é fundamental, o qual deve permanecer disponível 24 horas por dia, durante todo o ano. Em caso de falta de fornecimento em corrente alternada (CA) na estação, tal situação afeta dezoito sites, totalizando sete cidades: Tibagi, Carambeí, Telêmaco Borba, Reserva, Ivaí, Ipiranga e Ortigueira.

Para cumprir este papel, os equipamentos de uma central são alimentados com -48 V, em corrente contínua. De forma geral, a entrada principal de energia é atendida por fonte de corrente alternada, trifásica ou monofásica, a partir de empresa de distribuição de energia elétrica. A energia CA recebida é então convertida para níveis de corrente contínua na tensão de -48 V e estas fornecem carga para um banco de baterias estacionárias. O banco de baterias por sua vez, é utilizado a fim de suprir e estabilizar a tensão aos equipamentos, garantindo autonomia mínima para casos de falta de energia da fonte CA.

##### 3.1.1 Equipamentos da estação GNE

Nesse tópico será abordado cada equipamento presente na estação analisada e suas respectivas especificações técnicas disponibilizadas pelo fabricante. Serão divididos conforme fluxograma da figura 7.



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

##### 3.1.1.1 Sistema de entrada de energia

O sistema de entrada de energia da estação GNE é em CA, e para isso se tem um quadro que faça a distribuição dessa energia para diferentes circuitos. Na tabela 5 é possível observar todos os dispositivos presentes no Quadro de Distribuição Geral (QDG) e suas descrições.

Na figura 8 é possível observar os dispositivos de proteção do QDG.

Tabela 5 – Quadro de Distribuição Geral (QDG)

Dispositivos	Descrição
1	Barramento fase para a comunicação entre os dispositivos de proteção.
2	Barramento neutro.
3	Barramento terra.
4	Disjuntores para proteção de cada um dos equipamentos contra sobrecargas e curto-circuito.
5	DPS para detectar sobre tensões transitórias no circuito elétrico e desviar as correntes de surto.
6	Disjuntor geral de caixa moldada TMAX para restabelecimento da energia elétrica em caso de falha na rede e proteção ao sistema.
7	Chave de transferência Manual que viabiliza a troca de fornecimento de energia da rede para o gerador GMG móvel.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 8 – Quadro de Distribuição Geral (QDG)



Fonte: Autoria Própria (2023).

Na tabela 6 tem-se a descrição dos circuitos e equipamentos protegidos pelo QDG visíveis na figura acima.

**Tabela 6 – Circuitos e equipamentos**

<b>Circuito</b>	<b>Descrição</b>
1	Fonte delta.
2	Unidades retificadoras.
3	Iluminação interna, emergência e externa.
4	Tomadas auxiliares de alimentação 220/127V.
5	BTS 3012 AE para facilitar a comunicação sem fio entre um dispositivo e a rede.
6	Balizamento de sinalização para dividir a alimentação elétrica para os circuitos de sinalização da estrutura e alarmar quando apresentar algum problema.
7	Ar-Condicionado 1 e 2 em CA para manter a temperatura do contêiner a 23°C recomendado pelo fabricante.
8	Supressor 1, 2, 3 e 4 para limitar surtos e transientes.

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

### 3.1.1.2 Sistema de retificação e FCC

Na ERB a estrutura principal é alimentada em CA, devido a isso o sistema precisa de retificadores que convertem essa tensão em CC. Na ERB possui 12 URs, totalizando 600 *Ampere* (A). Em uma FCC, tem-se que cada URs é uma fonte chaveada controlada eletronicamente, com isso, é possível a conexão com computadores (RODRIGUES *et al.*, 2013). Na figura 9 é possível observar como é a FCC e suas URs.

**Figura 9 – Fonte de Corrente Contínua (FCC)**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

A FCC, fornece potência para as cargas, controla os eventos de carga e descarga dos bancos de baterias (RODRIGUES *et al.*, 2013). Na figura 10, temos o conjunto de retificadores interligados em paralelo da ERB analisada.

**Figura 10 – Unidades Retificadoras (URs)**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

### 3.1.1.3 Controladora

A controladora é responsável pela conversão CA para CC, alimentação CC, tensão de flutuação do banco de baterias, testes de descargas e consumo CC da estação (HONORATO, 2019). Na figura 11, tem-se uma ilustração de como é a controladora de fonte de alimentação.

**Figura 11 – Controladora**

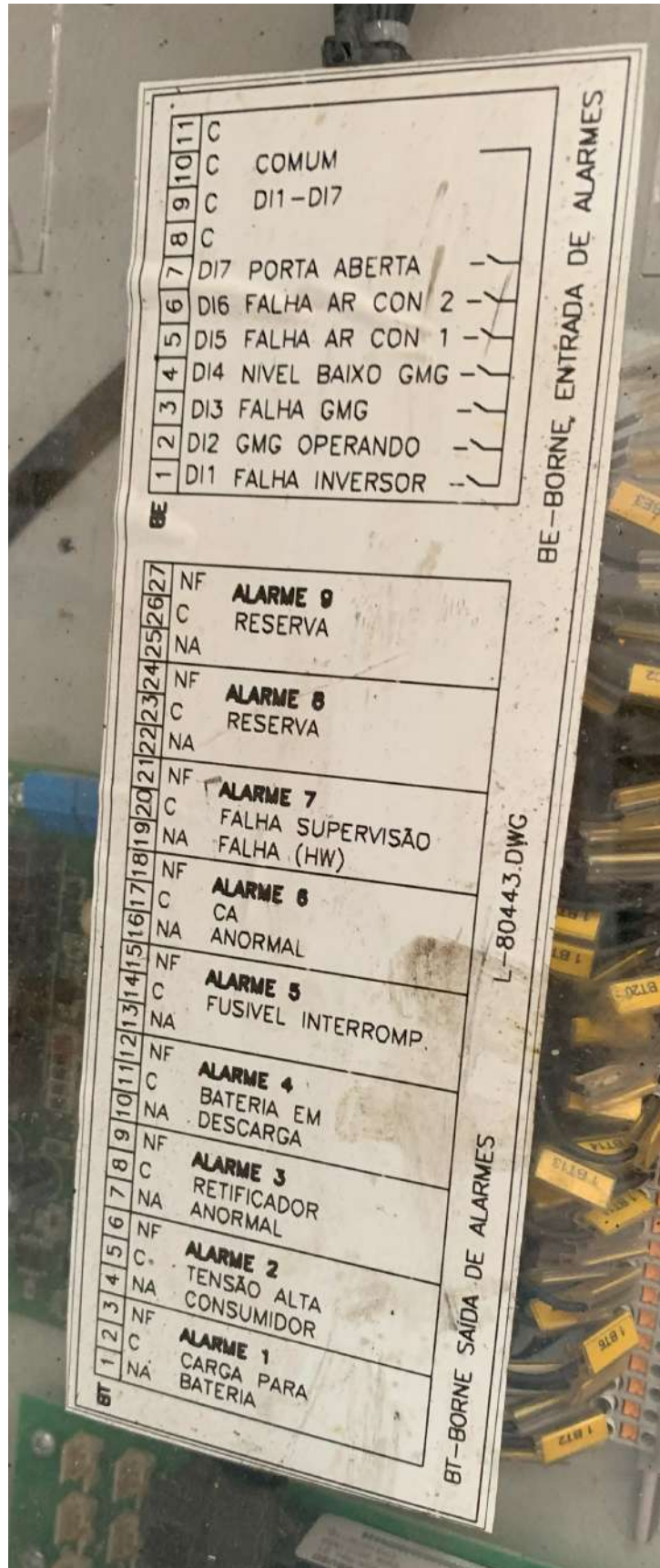


**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Na controladora existe o gerenciamento de alarmes da estação, como carga para bateria, tensão alta consumidor, retificador anormal, bateria em descarga, fusível interrompido, CA anormal, falha supervisão, porta aberta, falha ar condicionado, nível baixo Grupo Motor Gerador (GMG) móvel, falha GMG móvel, GMG móvel operando e falha inversor. Abaixo, na figura 12 tem-se todos os alarmes citados acima programados na controladora.



Figura 12 – Alarmes da Controladora



Fonte: Autoria Própria (2023).

### 3.1.1.4 Sistema de armazenamento de energia

O sistema de armazenamento de energia da ERB desempenha um papel crucial na garantia da operação contínua e da integridade do sistema em momentos críticos de falta de energia. De acordo com o (HONORATO, 2019), o banco de baterias é um componente fundamental nesse contexto, proporcionando a autonomia necessária para manter as operações em funcionamento.

O banco de baterias da estação são protegidos com o objetivo de evitar possíveis furtos. Isso se deve ao alto valor comercial desses elementos, tornando-os alvos para atividades ilegais.

Na estação analisada, contém dois bancos de baterias conectados em paralelo, sendo o primeiro formado por quatro baterias estacionárias de 220 Ampère-hora (Ah) conectadas em série e o segundo por um arranjo série/paralelo de oito baterias estacionárias seladas Chumbo Ácido Regulado por Válvula, do inglês *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) de 100 Ah, sendo especialmente projetado para situações de emergência, permitindo que ele entre em operação instantaneamente quando necessário. Na figura 13 é possível observar a composição do banco.

**Figura 13 – Banco de Baterias**



**Fonte: Autoria Própria.**

Cada banco tem uma tensão total de 48 V, sendo que cada bateria tem uma tensão de 12 V. Esses parâmetros são adequados para fornecer e estabilizar a tensão necessária aos equipamentos da ERB. Como a intenção é que o sistema de geração fotovoltaica trabalhe como *backup* com a rede, não será dimensionado um aumento nesse banco de baterias já existente. Portanto, a descrição do banco presente na estação pode ser encontrada na Tabela 7.

Em suma, o banco de baterias desempenha um papel vital na ERB, fornecendo energia de reserva e garantindo a estabilidade da tensão durante momentos de falta de energia da fonte de alimentação CA. Essa solução de armazenamento de energia é projetada para operar

de forma instantânea e confiável, permitindo a continuidade das operações e a preservação da integridade do sistema mesmo em situações adversas.

**Tabela 7 – Banco de Baterias**

Tipo	Quantidade	Tensão	Capacidade
Estacionária	4	12 V	220 Ah
VRLA	8	12 V	100 Ah

Fonte: Autoria Própria (2023).

### 3.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

A proposta deste projeto é dimensionar um sistema de microgeração fotovoltaica utilizando um sistema isolado para atender a demanda energética da estação GNE em Ponta Grossa, Paraná. O dimensionamento será realizado levando em consideração as características específicas do local, sem considerar a sazonalidade da região e utilizando métodos tradicionais de cálculo aprendidos nas disciplinas de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia, bem como à de Energia e Eficiência Energética, que fazem parte da matriz curricular do curso.

Segundo (HONORATO, 2019), um sistema autônomo de geração fotovoltaica *Off-Grid* é composto por três subsistemas principais: captação, acumulação e inversor autônomo. O subsistema de captação consiste em painéis fotovoltaicos que capturam a energia solar. Essa energia é armazenada no subsistema de acumulação, composto por baterias, para uso posterior. Por fim, o inversor autônomo converte a energia armazenada nas baterias em CA, permitindo o uso dessa energia pelos equipamentos elétricos. Essa configuração está visível na figura 14.

**Figura 14 – Sistema Off-Grid**



Fonte: (OLIVEIRA, 2018).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

Para a análise de viabilidade técnica e financeira da implantação de microgeração fotovoltaica para abastecer uma estação de telecomunicações, serão utilizados os seguintes recursos:

1. Coleta de dados existentes: Será necessário acessar os dados disponíveis na empresa, relacionados à implantação da microgeração na estação e seus componentes e modos de operação.
2. Ferramentas de medição: Serão utilizadas ferramentas de medição, como alicate amperímetro e multímetro, para obter informações sobre tensão e corrente dos equipamentos da estação.
3. Softwares de simulação: Será utilizado um software de simulação da CRESESB chamado SunData v 3.0, para dimensionar o sistema fotovoltaico, considerando fatores como a quantidade de irradiação solar média na região, a inclinação e orientação dos painéis solares.

#### 4.1.1 Potência real da estação

O propósito deste estudo consiste em desenvolver um sistema de microgeração de energia fotovoltaica que funcione como *backup* para a rede elétrica da concessionária. Todo o planejamento será realizado com base nos componentes já presentes na estação GNE, sem incluir mais baterias, apenas incluindo o sistema de geração fotovoltaico. As informações necessárias para o dimensionamento serão obtidas por meio de visitas realizadas no local.

Na tabela 8 temos o consumo dos equipamentos reais da estação, pois não foi possível simular uma falta de fornecimento de energia pela concessionária devido a regras internas da empresa, podendo afetar toda a operação.

**Tabela 8 – Potência Real**

Ponto de Medição	Tensão	Consumo
Entrada	220,5 V	23 A

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Os dados de tensão da tabela 8 foram medidos com um multímetro, conforme a figura 15.

**Figura 15 – Tensão**

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

E os dados de corrente da tabela 8 foram medidos com um alicate amperímetro conforme a figura 16.

**Figura 16 – Corrente**

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

#### 4.1.2 Irradiação Solar na estação

Consultando o site do (CRESESB, 2023) com a latitude de 25° 03' 08.00"S e longitude de 50° 08' 17.00"W da localização da estação, foi possível encontrar a média diária de radiação solar no plano horizontal, observado na figura 17.

**Figura 17 – Irradiação Solar no Plano Horizontal**

##### Localidades próximas

Latitude: 25,052222° S  
Longitude: 50,138056° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ponta Grossa	Ponta Grossa	PR	BRASIL	25,101° S	50,149° O	5,5	5,60	5,38	4,77	4,10	3,27	<b>2,90</b>	3,10	4,10	4,25	4,86	5,65	<b>5,89</b>	<b>4,49</b>	<b>2,99</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Carambei	Carambei	PR	BRASIL	25° S	50,149° O		5,9	5,67	5,45	4,78	4,14	3,29	<b>2,95</b>	3,16	4,13	4,30	4,91	5,69	<b>6,93</b>	<b>4,53</b>	<b>2,98</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	Ponta Grossa	Ponta Grossa	PR	BRASIL	25,101° S	50,049° O	10,5	5,59	5,36	4,77	4,10	3,24	<b>2,88</b>	3,09	4,10	4,23	4,83	5,66	<b>6,89</b>	<b>4,48</b>	<b>3,01</b>	

Fonte: (CRESESB, 2023).

Ao instalar painéis solares, a inclinação é um fator importante a ser considerado. A inclinação correta dos painéis permite a máxima captação de luz solar ao longo do dia, maximizando assim a geração de energia. Diante disso, para maximizar a produção de energia ao longo do ano, a inclinação dos painéis devem ficar próximas à latitude do local, nesse caso, próxima de 25°C. A figura 18 levanta os dados de irradiação solar no plano inclinado a 25°C.

**Figura 18 – Irradiação Solar no Plano Inclinado**

##### Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Ponta Grossa  
Município: Ponta Grossa , PR - BRASIL  
Latitude: 25,101° S  
Longitude: 50,149° O  
Distância do ponto de ref. ( 25,052222° S; 50,138056° O ):5,5 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,60	5,38	4,77	4,10	3,27	<b>2,90</b>	3,10	4,10	4,25	4,86	5,65	<b>5,89</b>	<b>4,49</b>	<b>2,99</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	25° N	5,05	5,13	4,93	4,71	4,11	<b>3,83</b>	4,01	4,94	4,56	4,75	5,16	<b>5,22</b>	<b>4,70</b>	<b>1,39</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	5,18	5,22	4,95	4,66	4,01	<b>3,72</b>	3,90	4,85	4,55	4,81	5,28	<b>5,37</b>	<b>4,71</b>	<b>1,65</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	45° N	4,20	4,47	4,59	4,72	4,36	<b>4,17</b>	4,32	<b>5,11</b>	4,36	4,23	4,34	4,27	<b>4,43</b>	<b>,94</b>

Fonte: (CRESESB, 2023).

A média de irradiação solar é de 4,70 kWh/m<sup>2</sup> por dia no plano inclinado considerando a latitude do local. Indicativo para a quantidade média de energia solar recebida por metro quadrado de superfície durante um dia. É uma medida importante para avaliar o potencial de geração de energia solar em determinada região.

## 4.2 Métodos

Os métodos abaixo descritos auxiliarão na análise, permitindo tomar decisões embasadas e fundamentadas:

1. Modelagem dos componentes: Com base nas informações coletadas, serão modelados os componentes do sistema fotovoltaico, como painéis solares, inversores e baterias, bem como os sistemas de controle necessários para otimizar o uso da energia gerada.
2. Avaliação dos custos: Será realizada uma análise dos custos de implantação do sistema fotovoltaico, considerando equipamentos, instalação e mão de obra.

#### 4.2.1 Dimensionamento da microgeração isolada

De acordo com os dados levantados nos tópicos anteriores, é possível realizar alguns cálculos para suprir a demanda energética da estação, considerando apenas a FCC para que a estação não fique sem operação. É possível multiplicar a tensão de 220,5 V pela corrente de 23 A, chegando no valor de 5,1 Quilowatt (kW). Esse valor é o máximo consumo em CA da FCC, e está sendo utilizado pois em descarga do banco de baterias, a usina supre a demanda.

Com o valor de 5,1 kW e com a informação fornecida pelo técnico da empresa que acompanhou a visita técnica, as baterias demoram duas horas para recarregarem, multiplicando esse valor de 5,1 por duas horas, chegando em 10,2 Quilowatt-hora (kWh) por dia, com um total mensal de 306 kWh.

Com o resultado encontrado no site do (CRESESB, 2023), utilizaremos a equação (1) aplicando os valores acima calculados.

$$\text{Potência Sistema} = \frac{\text{Energia Consumida}}{\text{Irradiação Média} \times \text{Rendimento}} \quad (1)$$

Dividiremos o valor de 10,2 kWh consumido por dia pelo valor encontrado de irradiação que foi 4,70 kWh/m<sup>2</sup> por dia, multiplicado pelo rendimento de 0,8, chegou-se no valor de 2,71 kWp.

##### 4.2.1.1 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

No tópico anterior, calculou-se a quantidade de energia que a unidade consumidora deve receber da microgeração fotovoltaica. Com base no valor encontrado de 2,71 kWp, definiu-se, a partir do *Datasheet* (BYD, 2020) do módulo *Policristalino Half-Cell 350-PHK-36-5B*, com potência nominal de 350 Watt (W) para o painel.

Utilizaremos a equação (2) para determinar a quantidade total de painéis necessários:

$$\text{Total Painéis} = \frac{\text{Potência Sistema}}{\text{Potência Nominal}} \quad (2)$$

Encontrou-se a quantidade de oito painéis policristalinos.

#### 4.2.1.2 Seleção do inversor

Ao analisar as informações fornecidas pelo fabricante, verificamos que a potência de pico de cada módulo é de 350 Wp. Com base nesse valor e levando em consideração que teremos oito placas, escolhemos através do *Datasheet* (SOLAR, 2022) o *Inversor Solar 3000 W 3kva Growatt 230 V 48 V Senoidal*, considerando uma margem de 10% para perdas como o calor e considerando que o inversor possui integração do recurso de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência, o MPPT. Esse recurso permite otimizar a eficiência de conversão de energia, garantindo que o inversor acompanhe continuamente o ponto de potência máxima dos painéis solares.

A escolha de um inversor com MPPT integrado traz algumas vantagens. Além de simplificar a instalação do sistema, eliminando a necessidade de um controlador MPPT separado, esse tipo de inversor oferece um desempenho geral aprimorado. Isso ocorre porque o MPPT é especialmente otimizado e ajustado para trabalhar em conjunto com o inversor.



## 5 RESULTADOS

Com base nos dados coletados e nos resultados obtidos, será realizada uma análise de viabilidade técnica e financeira do projeto, considerando a redução de custos com eletricidade e o retorno do investimento.

### 5.1 Análise de Viabilidade Técnica e Financeira

#### 5.1.1 Viabilidade Técnica

A viabilidade técnica requer uma cuidadosa consideração das características do local, tais como a intensidade da radiação solar e a disponibilidade de espaço para a instalação dos painéis solares. Além disso, é essencial avaliar a capacidade da rede elétrica para a conexão do sistema fotovoltaico e do banco de baterias.

Como detalhado nos tópicos acima, será necessário oito módulos. Na figura 19 temos a representação do contêiner onde ficam todos os equipamentos da estação.

**Figura 19 – Contêiner**



**Fonte: Aatoria Própria (2023).**

O contêiner possui uma dimensão de 4,7 Metro (m) de comprimento e 2,8 m de largura, totalizando uma área de 13,16 Metro Quadrado (m<sup>2</sup>). De acordo com o *Datasheet* (BYD, 2020)

disponibilizado pelo fabricante, cada módulo possui uma dimensão de 1,992 m de comprimento e 0,992 m de largura, totalizando uma área de 1,98 m<sup>2</sup>. Tem-se que no telhado do contêiner cabem exatamente seis módulos, sobrando 1,28 m<sup>2</sup>. Completando com uma estrutura metálica como suporte para o 2,68 m<sup>2</sup> faltante para os outros dois módulos, seria viável sua instalação no teto do contêiner.

Em pequenas estações como a analisada, em caso de falta de fase de energia e descarga dos bancos de baterias, um técnico é enviado com um GMG móvel para suprir a demanda da estação. Considerando deslocamentos, instalação do gerador portátil, poluição do meio ambiente, entre outros fatores, com o sistema de geração fotovoltaica não é necessário gerar alto consumo de corrente para recarga das baterias, sendo viável utilizar a energia da microgeração para manter o sistema e recarregar as baterias presentes na topologia da ERB de maneira controlada. Ademais, teria uma economia considerável em relação ao deslocamento de técnicos com a GMG móvel a gasolina em cada falta de fase, e também com o consumo de aproximadamente 2 litros de gasolina por hora de trabalho do gerador.

Com essa análise técnica, foi possível observar alguns pontos pertinentes sobre a microgeração para uma estação. Com a geração de energia solar, a estação de telecomunicações se torna independente da rede elétrica tradicional. Isso significa que a estação pode operar mesmo em áreas remotas onde o acesso à energia elétrica é limitado ou inexistente.

Além disso, temos benefícios com escalabilidade. A implantação da solução fotovoltaica isolada permite que a estação seja facilmente escalável. Havendo necessidade de aumentar a capacidade de geração de energia, pode-se adicionar mais painéis solares e sistemas de armazenamento conforme necessário.

1. **Manutenção Simplificada:** Os sistemas fotovoltaicos isolados são geralmente projetados para serem de baixa manutenção. As células solares têm uma vida útil longa e requerem pouca intervenção. Isso reduz os custos e o tempo dedicado à manutenção do sistema de energia da estação.
2. **Sustentabilidade Ambiental:** A energia solar é uma fonte renovável e limpa, o que contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a sustentabilidade ambiental, como já citado. A implantação da solução fotovoltaica para alimentar a ERB ajuda a reduzir a pegada de carbono da operação.
3. **Localização estratégica:** Ao instalar o sistema fotovoltaico, é fundamental considerar a localização estratégica dos componentes, de forma a dificultar o acesso não autorizado. Por exemplo, a instalação em áreas de difícil acesso ou a utilização de cercas de segurança podem ser eficazes para prevenir o furto.
4. **Proteção física:** A implementação de estruturas de proteção física, como grades, trancas e cadeados, pode dificultar o acesso aos componentes do sistema fotovoltaico. Além disso, a proteção física pode ser complementada por sistemas de rastreamento

Sistema de Posicionamento Global, do inglês *Global Positioning System* (GPS), que permitem localizar e recuperar os equipamentos em caso de roubo.

5. Identificação e marcação: A identificação e marcação dos componentes do sistema fotovoltaico, por meio de etiquetas ou gravações, pode desencorajar o roubo, uma vez que os itens se tornam mais difíceis de serem comercializados no mercado ilegal. Além disso, a marcação facilita a identificação e recuperação em caso de ocorrência e recuperação pela polícia.
6. Monitoramento remoto: A utilização de sistemas de monitoramento remoto permite o acompanhamento em tempo real do funcionamento do sistema fotovoltaico, bem como o recebimento de alertas em caso de atividades suspeitas. Isso possibilita uma resposta imediata em caso de roubo ou furto.

Ao adotar essas medidas de segurança, é possível aumentar a viabilidade técnica do sistema de geração fotovoltaica isolada em relação ao roubo e furto dos componentes. Embora não seja possível eliminar completamente os riscos, a combinação de estratégias de segurança pode reduzir as chances de ocorrência de incidentes e garantir a operação confiável e sustentável do sistema fotovoltaico.

### 5.1.2 Viabilidade Financeira

Já a viabilidade financeira envolve a análise criteriosa dos custos de investimento e do retorno financeiro esperado. Além disso, a pesquisa de preços e orçamentos foi fundamental para a definição dos materiais necessários para a construção da unidade geradora. Foram realizadas pesquisas na internet para obter uma noção dos custos envolvidos para obter orçamentos e identificar a melhor oferta disponível.

Na intenção de avaliar a viabilidade financeira do sistema, utilizou-se alguns conceitos de economia, para levantar a economia gerada pela geração, onde montou-se um fluxo de caixa simples, tempo de *Payback*, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Na tabela 9 está detalhado todo o orçamento necessário para a usina fotovoltaica.

Referente aos materiais cotados, utilizou-se sites *online* com os melhores preços de componentes e equipamentos. O valor total ficou em R\$10.946,62 a serem investidos na microgeração fotovoltaica, isso considerando a compra pela internet como pessoa física e considerando que a instalação seria feita por técnicos da empresa.

Tabela 9 – Orçamento da usina Fotovoltaica

Produto	Quantidade	Valor
Módulo fotovoltaico 350W	8	R\$5.541,36
Inversor 3KW	1	R\$3.999,49
Cabo 6mm	40 m	R\$161,60
Estrutura metálica	15 m <sup>2</sup>	R\$1.125,00
Condutele Mult. X 3/4	8	R\$38,94
Tubo Galvanizado 3/4	20 m	R\$80,23
<b>Total</b>		<b>R\$10.946,62</b>

Fonte: Autoria Própria (2023).

### 5.1.3 Economia gerada pela geração distribuída

Considerando que teremos 8 painéis de 350 W, uma eficiência dos painéis de 17,71% e utilizando a equação (3), temos uma Potência Total fornecida pelo sistema de 495,88 W por segundo.

$$\text{Potência Total (W)} = \text{Quantidade de painéis} \times \text{Potência painel} \times \text{Eficiência} \quad (3)$$

Para a quantificação do consumo de energia em KWh, utilizou-se a equação (4).

$$\text{Potência Total (KWh)} = \text{Potência total (KW)} \times 60 \times 60 \quad (4)$$

Encontrou-se 1,785 KWh que a estação estaria gerando. Com uma incidência de irradiação solar de 5 horas por dia, tem-se 8,925 KWh gerados por dia. Multiplicado por 30 dias, temos um total de 267,75 KWh no mês.

### 5.1.4 Análise Econômica

Não foi possível o acesso direto à conta do consumo da ERB analisada, mas de acordo com o descrito na tabela 3 e consulta ao site da (COPEL, 2023), uma estação ERB faz parte do Grupo Tarifário B3 - Comercial. De acordo com a figura 20 pode-se observar a tarifa aplicada pela concessionária a unidade consumidora analisada.

**Figura 20 – Tarifas aplicadas ao grupo B3 - Comercial**

Classe - Subclasse		B3 - Comercial Demais Classes		TE	TUSD
B1 - Residencial	<b>B3 - Comercial</b>	<b>Convencional (R\$/kWh)</b>	Sem imposto	R\$ 0,25894	R\$ 0,31080
B2 - Rural	B4 - Iluminação Pública		Com imposto	R\$ 0,33090	R\$ 0,39718

Fonte: (COPEL, 2023).

Nesse sentido, tem-se que a tarifa no total fica em R\$0,73 por kWh. Com uma soma simples e considerando todas as informações presentes nesse trabalho, teríamos uma economia de R\$195,46 por mês e R\$2.345,49 no ano.

#### 5.1.4.1 Caixa Simples

Assumindo o valor encontrado com a tarifa do Grupo B3 de R\$0,73, temos um comparativo entre o consumo médio calculado e a produção de energia média descritos na tabela 10.

**Tabela 10 – Economia Fatura**

	Consumo/Produção	Custo
<b>Consumo médio</b>	306 kWh	(R\$)223,38
<b>Produção média</b>	267,75 kWh	(R\$)195,46
<b>Valor da Fatura</b>		(R\$)27,92

Fonte: Autoria Própria (2023).

Para a elaboração do fluxo de caixa simples, levou-se em conta o investimento inicial do projeto e a economia gerada anualmente, como visto na tabela 11.

**Tabela 11 – Fluxo de Caixa Simples**

Ano	Custos	Economia	Diferença por ano
<b>0</b>	R\$10.946,62	R\$0	R\$-10.946,62
<b>1</b>	R\$335,04	R\$2.345,52	R\$-8.601,1
<b>2</b>	R\$335,04	R\$2.345,52	R\$-6.255,58
<b>3</b>	R\$335,04	R\$2.345,52	R\$-3.910,06
<b>4</b>	R\$335,04	R\$2.345,52	R\$-1.564,54
<b>5</b>	R\$335,04	R\$2.345,52	R\$780,98

Fonte: Autoria Própria (2023).

#### 5.1.4.2 Payback sobre o investimento

Conforme demonstrado pela tabela 11, a partir do quarto ano, já se atinge o tempo de *Payback*, sendo mais específico, em um período de 4 anos e 8 meses. Este valor está na

faixa de tempo médio esperado de retorno e encontrou-se através da substituição dos valores encontrados na equação 5.

$$\text{Payback (mês)} = \frac{\text{Investimento (R\$)}}{\text{Energia (KWh/mês)} \times \text{Valor da tarifa de energia}} \quad (5)$$

O cálculo do VPL é muito utilizado e aplicado como método de avaliação de contribuição de investimento na empresa. A equação do VPL pode ser representada da seguinte forma na equação 6:

$$\text{VPL} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - \text{Investimento} \quad (6)$$

Onde:

VPL é o Valor Presente Líquido

$FC_t$  é o Fluxo de Caixa no período t

r é a Taxa Mínima de Atratividade

n é o número total de anos do sistema fotovoltaico

Investimento é o investimento inicial realizado no projeto

É importante ressaltar que, de modo geral, o resultado do VPL é classificado como:

1. Se o VPL for maior do que 0, o projeto é viável. Um VPL maior do que zero significa que o projeto seria lucrativo, superando a taxa de retorno desejada pelo investidor. Isso implica que o projeto seria capaz de recuperar os valores investidos e ainda gerar um montante adicional de lucro.
2. Um VPL igual a zero significa que o projeto seria viável o suficiente para cobrir tanto os custos de investimento quanto a taxa de retorno esperada pelo investidor. Isso indica que o projeto teria a capacidade de equilibrar os investimentos realizados com os retornos financeiros projetados, alcançando o nível de rentabilidade desejado pelo investidor.

Sabendo que a vida útil de um sistema fotovoltaico dura em média 25 anos, definiu-se  $n = 25$ . Portanto, também será determinado uma TMA de 15%, indicando uma porcentagem de retorno para o capital investido no projeto. Aplicando todos os dados na equação encontrou-se um  $\text{VPL} = \text{R\$}4.143,92$ .

Igualando a equação 6 a 0, encontrou-se 21,22%. O valor do TIR indica que se o retorno exigido para o investimento for superior a 21,22%, o projeto não é viável financeiramente.

A tabela 12 levanta todos os itens utilizados para análise financeira de microgeração fotovoltaica isolada.

**Tabela 12 – Análise Financeira**

<b>Método</b>	<b>Valor</b>
<b>Custo do sistema</b>	R\$10.946,62
<b>Payback</b>	4 anos e 8 mês
<b>Taxa Mínima de Atratividade (TMA)</b>	15%
<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>	R\$4.143,92
<b>Taxa Interna de Retorno (TIR)</b>	21,22%

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

#### 5.1.4.3 Emissões de gases poluentes

A pegada de carbono é um conceito que avalia a quantidade de gases poluentes emitidos durante todo o ciclo de vida de um determinado objeto. No caso da energia solar fotovoltaica para a estação, ela é reconhecida como uma fonte de energia limpa, apresentando uma pegada de carbono reduzida em comparação aos combustíveis fósseis.

Por se tratar de uma fonte de energia renovável e não poluente, contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento global. Além disso, ao utilizar a energia solar, reduz-se a dependência de fontes de energia não renováveis, como os combustíveis fósseis, que estão associados a impactos ambientais.

No geral, a energia solar fotovoltaica se destaca como uma alternativa mais limpa e sustentável, contribuindo para a redução da pegada de carbono e para a preservação do meio ambiente. Sua utilização é uma importante medida na transição para um modelo energético mais sustentável e na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

## 6 CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho, foi possível analisar a viabilidade técnica e financeira da implantação de um sistema de microgeração fotovoltaica isolado, para suprir a demanda energética de uma ERB de telecomunicações quando ocorre falta de energia pela concessionária e o banco de baterias estão em descarga.

A empresa, ao buscar aprimorar sua eficiência energética, demonstra o compromisso não apenas com seus resultados financeiros, mas também com a redução das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se aos princípios ESG.

A energia solar, além de ser uma fonte limpa e sustentável, é um recurso renovável promissor tanto no Brasil como no mundo. Sua instalação em residências e empresas contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e diminui a dependência de combustíveis fósseis, como o petróleo.

O tempo de retorno do investimento em um sistema fotovoltaico varia de acordo com a quantidade de energia consumida, sendo que, em muitos casos, esse retorno ocorre em aproximadamente 5 anos. A grande vantagem desse sistema de geração de energia é a economia a longo prazo. Uma vez que o tempo de retorno é alcançado, há uma redução significativa nas despesas com energia elétrica por pelo menos mais 20 anos, considerando a vida útil estimada dos painéis solares, que é de 25 anos.

Nesse sentido, a análise técnica de instalação é viável, considerando à baixa manutenção do sistema de energia fotovoltaica, a sustentabilidade ambiental que engloba a redução das emissões de gases de efeito estufa e também a localização estratégica dos componentes, de modo a dificultar o acesso não autorizado. Além disso, contemplaria uma economia considerável em relação ao deslocamento de técnicos com a GMG móvel a gasolina em cada falta de fase.

De acordo com os resultados encontrados, o retorno do investimento analisado se pagaria em 4 anos e 8 mês, e teria mais 20 anos e 4 meses de lucro e gerando energia limpa de acordo com às práticas de sustentabilidade. Pode-se afirmar que financeiramente a implantação da microgeração fotovoltaica na estação é rentável, visto que chegou-se a um VPL maior do que 0, assim sendo caracterizado como viável. E o TMA menor do que o TIR.

Portanto, a utilização de sistemas fotovoltaicos isolados tem se mostrado cada vez mais atrativa devido aos inúmeros benefícios que proporciona. Sua utilização se mostra uma solução vantajosa e sustentável, permitindo não apenas a redução dos custos com energia elétrica, mas também o fortalecimento dos princípios ambientais e a promoção de práticas mais sustentáveis.



## REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. de N. T. **NBR 14565: Redes de acesso à internet**. 2018. Rio de Janeiro. Acesso em: 2023-04-14.
- ANEEL. **Geração Distribuída**. 2023. <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 2023-06-10.
- Banco Central do Brasil. **Resolução nº4.327, de 25 de abril de 2014**. 2014. Banco Central do Brasil. Acesso em: 2023-04-05. Disponível em: [https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2014/pdf/res\\_4327\\_v1\\_O.pdf](https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2014/pdf/res_4327_v1_O.pdf).
- BOECHAT, L. **Expansão da Telefonia Móvel no Brasil**. 2015. <https://techinbrazil.com.br/expansao-da-telefonia-movel-no-brasil>. 1p. Resenha de apresentação da história da expansão da telefonia móvel no Brasil.
- BRAGA, R. P. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. 2008. Pantheon UFRJ - Repositório Institucional. Acesso em: 2023-04-05. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/7372>.
- BYD. **BYD PHK 36 Series 5BB Solar Panel Datasheet**. 2020. [https://www.byd.ind.br/2020/wp-content/uploads/2020/09/PHK\\_36\\_SERIES\\_5BB\\_pnl\\_solar\\_byd\\_01\\_020320.pdf](https://www.byd.ind.br/2020/wp-content/uploads/2020/09/PHK_36_SERIES_5BB_pnl_solar_byd_01_020320.pdf). Acesso em: 2023-06-01.
- CETESB. **Emissão Veicular**. 2023. CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Acesso em: 2023-05-05. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>.
- CHAGAS, J. M. N.; BOAVENTURA, M. d. A. **Desenvolvimento de um sistema de microgeração distribuída fotovoltaica para complemento de demanda energética de um condomínio em Foz do Iguaçu/PR**. 2021. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021. Acesso em: 2023-04-10.
- COLAMEGO, E. **Frase Eduardo Colamego - Pensador**. s.d. Acesso em: 2022-10-15. Disponível em: <https://www.pensador.com/frase/MjA5NDYyNg/#:~:text=Se%20deseja%20ter%20sucesso%20no%20que%20se%20prop%C3%B5e%20a%20f,menos%20que%20o%20seu%20melhor.&text=Pensador%3A%20colecione%20e%20compartilhe%20frases%2C%20poemas%2C%20mensagens%20e%20textos>.
- CONFESSOR, S. L. d. M. *et al.* **Análise comparativa de controladores mppt aplicados a um sistema fotovoltaico**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2014. Acesso em: 2022-11-26.
- COPEL. **Tarifas de Energia Elétrica**. 2023. <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 2023-06-10.
- CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. 2023. <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica.
- EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. 2021. [www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20de%20Consolida%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Resultados.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20de%20Consolida%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Resultados.pdf). Acesso em: 2023-06-01.
- EXSTO. **Tipos de Sistemas Fotovoltaicos**. 2023. <http://www.exsto.com.br>. Acesso em: 2023-06-01.

- GONÇALVES, B. M. *et al.* Análise, simulação e implementação de um controlador mppt aplicado a um sistema fotovoltaico. *In: 12ª Semana de Ciência e Tecnologia do CEFET-MG.* [S.l.: s.n.], 2016. Acesso em: 2022-10-16.
- HONORATO, T. V. Estudo de viabilidade técnica e financeira de implantação de sistema fotovoltaico isolado em uma estação claro-mg com monitoramento remoto de potência. 2019. Acesso em: 2022-10-15.
- IEA. **World Energy Outlook 2020.** Paris, 2020. Licença: CC BY 4.0. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.
- INMETRO. **Inmetro atualiza o regulamento para equipamentos de sistemas fotovoltaicos.** 2022. Website. Acesso em: 2023-03-07. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/inmetro-atualiza-o-regulamento-para-equipamentos-de-sistemas-fotovoltaicos>.
- INMETRO. **PORTARIA Nº140.** 2022. Portaria. Acesso em: 2023-03-07. Disponível em: <http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002957.pdf>.
- KESTELMAN, H. N. **Contexto histórico do processo de institucionalização das telecomunicações no Brasil.** 2002. Tese (Doutorado), 2002. Acesso em: 2023-03-07.
- LOPES, G. **A Composição de um sistema móvel de celular.** 2009. Dissertação (Dissertação), 2009. Acesso em: 2023-05-15. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/goncalo/compos.htm>.
- MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015. Acesso em: 2023-03-16.
- MATTOS, C. A. P. Projeto de controlador de carga de bateria de li-íon. 2019. Acesso em: 2022-11-13.
- MCOM. **Código Brasileiro de Telecomunicações completa 60 anos.** 2022. Ministério das Comunicações. Acesso em: 2023-03-07. Disponível em: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/noticias/2022/agosto/codigo-brasileiro-de-telecomunicacoes-completa-60-anos>.
- MINHA CASA SOLAR. **CONEXÃO DOS EQUIPAMENTOS FOTOVOLTAICOS AO CONTROLADOR DE CARGA.** 2022. Acesso em: 2022-11-13. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/produto/controlador-de-carga-60a-12v-24v-36v-48v-mppt-sun21-ccs-m6048-79333>.
- Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética.** 2021. Acesso em: 2023-04-14. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/plano-nacional-de-eficiencia-energetica/documentos/plano-nacional-eficiencia-energetica-pdf.pdf/view>.
- MORAES, A. F. d. **Redes de Computadores - 2ª Edição.** São Paulo: Editora Érica, 2020. Acesso em: 2023-04-14.
- NERIS, A. **O que são Painéis Monocristalinos e quais são suas vantagens?** 2021. Acesso em: 2023-05-06. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/blog/o-que-sao-paineis-monocristalinos-e-quais-sao-suas-vantagens/>.
- NETO, V. S. **Telecomunicações avançadas e as tecnologias aplicadas.** São Paulo: Editora Érica, 2018. Acesso em: 2023-04-14.
- OLIVEIRA, O. A. S. d. O uso de energia de fonte solar fotovoltaica aplicado em telecomunicações. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2018. Acesso em: 2023-03-07.

Portal Energia Brasil. **Tipos de Sistemas Fotovoltaicos**. 2023. <https://portalenergiabrasil.com.br/tipos-de-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 2023-05-04.

RODRIGUES, M. F. *et al.* Instalação de microgeração distribuída com fonte fotovoltaica nas estações de telecomunicações. Universidade Federal de Santa Maria, 2013. Acesso em: 2023-06-01.

SANTOS, A. H. M.; HADDAD, J.; BAJAY, S. V. Eficiência energética e sua inserção no planejamento energético brasileiro. **Revista Brasileira de Energia**, v. 27, 2021. Acesso em: 2023-05-16. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/issue/view/64>.

SERRANO, R. **TIPOS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**. 2017. Acesso em: 2022-11-16. Disponível em: <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>.

SOLAR, P. **Growatt 3P 3 kW to 6 kW Inverter Datasheet**. 2022. <https://pro-solar.com.au/documents/growatt-3p-3kw-to-6kw-inverter.pdf>. Acesso em: 2023-06-01.

VIEIRA, G. V. **Eficiência energética através da implementação da cultura ESG**. 2022. Repositório Institucional da UNESP. Acesso em: 2023-04-05. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/238455>.