

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO MIRANDA MOTHÉ CRUZEIRO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA FORMAÇÃO DE
COOPERATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR PEQUENOS
CONSUMIDORES UTILIZANDO ENERGIA SOLAR**

**CURITIBA
2024**

BRUNO MIRANDA MOTHÉ CRUZEIRO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA FORMAÇÃO DE
COOPERATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR PEQUENOS
CONSUMIDORES UTILIZANDO ENERGIA SOLAR**

**Technical and economic viability analysis of the constitution of energy
cooperatives by small consumers utilizing solar energy**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica do curso de
Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Roberto Cesar Betini

CURITIBA

2024



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

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

BRUNO MIRANDA MOTHÉ CRUZEIRO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA FORMAÇÃO DE
COOPERATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR PEQUENOS
CONSUMIDORES UTILIZANDO ENERGIA SOLAR**

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

Data de aprovação: 13/Junho/2024

Roberto Cesar Betini
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Roberto Candido
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Thiago de Paula Machado Bazzo
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2024

RESUMO

Segundo o Sistema de Informações de Geração da ANEEL, 56,57% da energia elétrica gerada no Brasil em maio de 2023 foi proveniente de fontes hídricas. Em 2012, a ANEEL lançou bases para regulamentação da geração distribuída se utilizando de outras fontes renováveis, além da hídrica, permitindo que pequenos consumidores se organizassem em forma de cooperativa para gerar energia num sistema de compensação de tarifa, fazendo com que surgisse uma nova oportunidade para acesso a energia solar (Barbiero, Francato e Pinheiro, 2023). Este trabalho analisou as cooperativas de energia sob o viés técnico e financeiro, baseando-se em três cenários envolvendo consumidores de diferentes camadas sociais. Buscou-se entender as condições necessárias para formação das mesmas, bem como as barreiras encontradas para tal. Através deste estudo, foi possível constatar a viabilidade técnica e econômica para formação de cooperativas de energia em Curitiba, o que pode contribuir potencialmente para ampliar o acesso de pequenos consumidores a energia solar.

Palavras-chave: Compensação de tarifa; Cooperativas de energia; Energias renováveis; Geração distribuída.

ABSTRACT

According to ANEEL's Generation Information System, 56.57% of the electricity generated in Brazil in May 2023 came from hydroelectric sources. In 2012, ANEEL set bases for regulation of distributed generation using other renewable sources besides hydroelectric, allowing small consumers to organize themselves into cooperatives to generate energy within a fare compensation system, creating a new opportunity for having access to solar energy (Barbiero, Francato and Pinheiro, 2023). This work analyzed energy cooperatives from a technical and financial perspective, based on three scenarios involving consumers from different socioeconomic groups. The goal was to understand the requirements for their formation, as well as the potential barriers. Through this study, it was possible to confirm the technical and economic viability of forming energy cooperatives in Curitiba, which can potentially contribute to increasing access to solar energy by small consumers.

Keywords: Distributed generation; Energy cooperatives; Fare compensation; Renewable energies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de autoconsumo remoto.....	24
Figura 2 - Funcionamento do consórcio.	26
Figura 3 - Evolução da fonte Solar Voltaica no Brasil.	29
Figura 4 - Ranking estadual de potência instalada em sistemas de geração fotovoltaica na modalidade geração distribuída.	30
Figura 5 - Diagrama demonstrativo das etapas para criação de uma cooperativa de energia solar fotovoltaica.....	34
Figura 6 - Diagrama demonstrativo de um sistema fotovoltaico conectado à rede. ...	35
Figura 7 - Célula, módulos e painéis fotovoltaicos.	37
Figura 8 - Elementos do módulo fotovoltaico.	39
Figura 9 - Esquema de ligação genérico entre módulos fotovoltaicos.	40
Figura 10 - Consumo de energia elétrica per capita em 2019, de acordo com faixa de renda.	44
Figura 11 - Captura de tela do portal do LABREN com o mapa de Curitiba.	50
Figura 12 - Preço do inversor modelo MAX100KTL3-X2 LV da Growatt.....	53
Figura 13 - Arranjo dos módulos fotovoltaicos para o cenário 1.....	61
Figura 14 - Arranjo dos módulos fotovoltaicos para o cenário 2.....	62
Figura 15 - Arranjo dos módulos fotovoltaicos para o cenário 3.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Opções de faturamento para condomínios com geração distribuída.	25
Quadro 2 - Cenários escolhidos para estudo de viabilidade.	44
Quadro 3 - Perfis de unidades consumidoras adotados.....	45
Quadro 4 - Composição de perfis para um grupo de 20 UC's.....	45
Quadro 5 - Consumo total mensal para cada cenário.	45
Quadro 6 - Custo de disponibilidade e consumo considerado para o Cenário 1.....	48
Quadro 7 - Custo de disponibilidade e consumo considerado para o Cenário 2.....	49
Quadro 8 - Custo de disponibilidade e consumo considerado para o Cenário 3.....	49
Quadro 9 - Características do módulo TS560S8B.	52
Quadro 10 - Características dos inversores adotados.	52
Quadro 11 - Valores estimados para o SGFV no cenário 3.	54
Quadro 12 - Resumo dos valores para os equipamentos necessários nos três cenários.....	54
Quadro 13 - Resumo dos sistemas de geração para os três cenários.....	65
Quadro 14 - Resumo do investimento inicial para os três cenários.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo de disponibilidade em kWh para consumidores do grupo B1.	36
Tabela 2 - Irradiação no plano inclinado, em Wh/m ² .dia em Curitiba.....	51
Tabela 3 - Custo por Wp para SGFV de 4kWp e 50kWp.	55
Tabela 4 - Custo por Wp para SGFV de 12kWp, 30 kWp e 75 kWp.	55
Tabela 5 - Custos para constituição da cooperativa.....	56
Tabela 6 - Reajustes feitos pela COPEL na tarifa de energia.	57
Tabela 7 - Tarifas praticadas pela COPEL para consumidores do grupo B1.	58
Tabela 8 - Custos dos equipamentos e integração no cenário 1.....	66
Tabela 9 - Custos de administração e manutenção da cooperativa no cenário 1.	67
Tabela 10 - Custo de disponibilidade da rede no cenário 1.	68
Tabela 11 - Receita gerada no cenário 1.	69
Tabela 12 - Cálculo do retorno do investimento no cenário 1.	70
Tabela 13 - Custos dos equipamentos e integração no cenário 2.....	71
Tabela 14 - Custos de administração e manutenção da cooperativa no cenário 2. ...	72
Tabela 15 - Custo de disponibilidade da rede no cenário 2.	73
Tabela 16 - Receita gerada no cenário 2.	74
Tabela 17 - Cálculo do retorno do investimento no cenário 2.	75
Tabela 18 - Custos dos equipamentos e integração no cenário 3.....	76
Tabela 19 - Custos de administração e manutenção da cooperativa no cenário 3. ...	77
Tabela 20 - Custo de disponibilidade da rede no cenário 3.	78
Tabela 21 - Receita gerada no cenário 3.	79
Tabela 22 - Cálculo do retorno do investimento no cenário 3.	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CPF	Cadastro de Pessoa Física
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kV	Quilovolt
kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilowatt-pico
LABREN de Energia	Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MW	Megawatt
MWp	Megawatt-pico
NBR	Norma Brasileira
OCB	Organização das Cooperativas Brasileiras
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PRODIST Elétrico Nacional	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
REN 235/2006	Resolução Normativa no 235 de 2006
REN 482/2012	Resolução Normativa no 482 de 2012
REN 687/2015	Resolução Normativa no 687 de 2015
REN 1000/2021	Resolução Normativa no 1000 de 2021
REN 1059/2023	Resolução Normativa no 1059 de 2023
SFV	Sistema Fotovoltaico
SGFV	Sistema de Geração de Energia Fotovoltaica
SIN	Sistema Interligado Nacional

UC	Unidade Consumidora
UHE	Usina Hidrelétrica
UV	Ultravioleta
Wh/m ² .dia	Watt hora por metro quadrado ao dia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Contexto do tema.....	15
1.2	Ambiente de estudo.....	16
1.3	Caracterização do problema.....	16
1.4	Objetivos.....	17
1.5	Justificativa.....	18
1.6	Conteúdo do trabalho.....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	Metodologia.....	20
2.2	Micro e minigeração distribuída.....	21
2.3	Diferentes modelos de compensação para geração distribuída.....	22
2.3.1	Geração distribuída junto à carga.....	23
2.3.2	Autoconsumo remoto.....	23
2.3.3	Geração distribuída em condomínios.....	24
2.3.4	Geração compartilhada.....	25
<u>2.3.4.1</u>	<u>Consórcios.....</u>	<u>25</u>
<u>2.3.4.2</u>	<u>Cooperativas.....</u>	<u>26</u>
2.4	Cooperativas de energia solar fotovoltaica.....	28
2.4.1	Histórico.....	28
2.4.2	Definições normativas.....	30
2.4.3	Limitações e barreiras.....	31
2.4.4	Vantagens.....	32
2.4.5	Etapas para fundação de uma cooperativa.....	33
2.5	Sistemas de geração fotovoltaicos.....	34
2.5.1	Isolados (off-grid).....	34
2.5.2	Conectados à rede (on-grid).....	35
2.5.3	Componentes e funcionamento.....	36
2.5.4	Célula fotovoltaica.....	36
<u>2.5.4.1</u>	<u>Silício monocristalino.....</u>	<u>37</u>

2.5.4.2	Silício policristalino.....	38
2.5.5	Módulo	38
2.5.6	Comportamento com diferentes ligações de módulos	40
2.5.7	Inversor de frequência	41
2.5.8	Buscador de ponto máximo	41
2.5.9	Banco de baterias	42
2.5.10	Sistema de medição bidirecional	42
3	ANÁLISE DE COOPERATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR	
	FOTOVOLTAICA PARA PEQUENOS CONSUMIDORES	43
3.1	Formação de cooperativa de energia solar fotovoltaica para 3 cenários de consumo	43
4	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E RESULTADOS	
	OBTIDOS	47
4.1	Detalhamento dos cenários	47
4.1.1	Cenário 1	47
4.1.2	Cenário 2	48
4.1.3	Cenário 3	49
4.2	Premissas adotadas para grandezas solares e outras variáveis	50
4.2.1	Irradiação solar	50
4.2.2	Inversor e módulos.....	51
4.2.3	Valores do módulo e inversores.....	53
4.2.4	Custos de implantação do SGFV	54
4.2.5	Custos de constituição da cooperativa.....	56
4.2.6	Custos de manutenção, inflação e variação na tarifa de energia.....	56
4.2.7	Outras considerações	57
4.3	Dimensionamento do SGFV.....	58
4.3.1	Cenário 1	59
4.3.2	Cenário 2	61
4.3.3	Cenário 3	63
4.3.4	Resumo dos dimensionamentos	65
4.4	Análise de viabilidade econômica para os 3 cenários.....	65
4.4.1	Cenário 1	65
<u>4.4.1.1</u>	<u>Custos.....</u>	<u>66</u>

4.4.1.2	<u>Receita.....</u>	<u>69</u>
4.4.1.3	<u>Retorno do investimento (<i>payback</i>).....</u>	<u>70</u>
4.4.2	Cenário 2	71
4.4.2.1	<u>Custos.....</u>	<u>71</u>
4.4.2.2	<u>Receita.....</u>	<u>73</u>
4.4.2.3	<u>Retorno do investimento (<i>payback</i>).....</u>	<u>75</u>
4.4.3	Cenário 3	76
4.4.3.1	<u>Custos.....</u>	<u>76</u>
4.4.3.2	<u>Receita.....</u>	<u>78</u>
4.4.3.3	<u>Retorno do investimento (<i>payback</i>).....</u>	<u>80</u>
4.4.4	Investimento inicial nos 3 cenários.....	81
5	CONCLUSÕES.....	82
	REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é uma necessidade constante para manter a sociedade em que conhecemos funcionando. Cada país adota matrizes energéticas de acordo com os recursos que possuem e de acordo com seus respectivos planejamentos energéticos. No Brasil, 56,57% da matriz elétrica de energia é composta de fontes hídricas, seguida por fontes fósseis, tais como, carvão mineral, gás natural e petróleo, que correspondem a outra parcela de 15,78% (Sistema de Informações de Geração - ANEEL, 2023b).

Quando fontes hídricas são abordadas, as usinas que as utilizam tem a geração de energia influenciada por chuvas e época de secas. As usinas de matriz hídrica podem ser classificadas em três categorias, de acordo com a potência instalada: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH, com até 1 MW de potência instalada), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH, entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada) e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW). Em se tratando das UHE, há diversos desafios para implantação de uma usina, a extensa área que deve ser alagada para formação de reservatório e o impacto ambiental, social e econômico atrelado a essa necessidade, costumam ser alvo de constantes ataques de ambientalistas. Nas CGH e PCH, há um dilema entre as questões sociais e ambientais mencionadas para as UHE e a necessidade de mitigar estes por meio de uma implementação mais sustentável, o que pode levar ao aumento dos custos de execução da construção. Atualmente, existem cerca de 105 projetos de PCH no Brasil, dos quais 28 já tiveram suas construções iniciadas (Sistema de Informações de Geração - ANEEL, 2023b).

Em relação à utilização de recursos fósseis para geração de energia, diversos efeitos danosos ao meio ambiente podem ser observados. A queima de combustíveis fósseis eleva a emissão de gases causadores do efeito estufa na atmosfera, poluindo o ar e contribuindo para o aquecimento global (GARCIA *et al.*, 2018). Além disso, as usinas termoelétricas que utilizam elementos fósseis geram uma energia com preço elevado quando comparado a outras fontes (Capellán-Péres *et al.*, 2018). Ambos os fatores contribuem para que a operação de usinas com esta matriz seja menos indicada, seja do ponto de vista ambiental, quanto financeiro.

A transição da obtenção de energia através de usinas hidrelétricas e de combustíveis fósseis para energia advinda de fontes renováveis é uma condição indispensável para que se alcance a sustentabilidade socioeconômica (Betini, 2014). Sob este viés, buscar matrizes alternativas, renováveis, e que não apresentem os impactos abordados na matriz hidrelétrica é algo cada vez mais desejável e procurado. Se faz necessário ter uma matriz energética que seja mais sustentável e menos danosa ao meio ambiente, para que o mesmo seja preservado tanto para a geração atual, quanto para as futuras. Dentre as matrizes renováveis existentes, a geração fotovoltaica vem sendo foco de diversos estudos e investimentos, principalmente ao longo da última década (Barca, 2011).

As fontes fotovoltaica, eólica e biomassa são candidatas de destaque para reforçar o fornecimento de energia elétrica no Brasil. Elas apresentam vantagens em relação as fontes hídrica e fóssil, predominantes no Brasil, como a não emissão de gases poluentes e potencial de geração em diversas áreas (Schneider, 2020). Além disso, abrem caminho para obter energia de forma descentralizada, e isso favorece o fornecimento de energia, através da instalação de sistemas de geração junto a carga, o que também apresenta potencial de diminuir consideravelmente as estruturas de transmissão para despacho da energia gerada, assim como as perdas de energia ocorridas durante a transmissão a longas distâncias (Gonsalves, 2023).

Apesar das vantagens acima apresentadas, existem fatores que inibem grande parte dos consumidores de energia de tirar benefício das fontes renováveis, em especial aos consumidores de pequeno porte, normalmente residenciais, e, em alguns casos, comerciais ou rurais (RESCOOP, 2016). Estes fatores constituem desafios que podem ser inerentes a forma de geração de energia, tais como: custo inicial de implantação, fatores climáticos, geográficos e viabilidade técnica (RESCOOP, 2016). Além disso, existem desafios também quando se trata da operação e comercialização da energia obtida destas formas. A fim de viabilizar que esses empreendimentos sejam vistos como vantajosos e lucrativos, investidores e empresas precisam solucionar os desafios que se apresentem. Como resultado, os pequenos consumidores podem ficar inibidos de tirar vantagem de fontes renováveis de energia, devido à complexidade técnica, falta de informação, e custos iniciais de implementação dos sistemas de geração, o que pode ofuscar os benefícios percebidos (RESCOOP, 2016).

As Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015 da ANEEL lançaram as bases para geração distribuída e geração compartilhada, tornando possível que pequenos consumidores se unam em forma de cooperativa ou consórcio. A energia gerada por esses tipos de organizações pode ser deduzida das faturas dos consorciados ou cooperados. As Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015 foram revogadas pela Resolução Normativa 1059/2023 (ANEEL, 2023a), que atualiza a regulamentação acerca do tema.

1.1 Contexto do tema

Ao longo dos últimos anos, pode-se notar que a exploração da energia solar fotovoltaica vem crescendo cada vez mais no Brasil (Barbiero, Francato e Pinheiro, 2023). Destaca-se a importância de movimentos sociais-ecológicos em trazerem atenção pública e fomentar discussões importantes para esse tema, com base no que afirma Almeida (2019), “nossa sociedade atual e futura necessita de energia elétrica, deve se preocupar com a forma de produzi-la e de consumi-la”.

Este trabalho analisa a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma cooperativa no campo das energias renováveis, em específico a energia solar, como alternativa aos modelos já estabelecidos. Apesar do modelo de cooperativa já operar há bastante tempo nos setores bancários, agrícolas ou varejo, o modelo de cooperativa no campo de energia ainda é novo no país. A primeira cooperativa de energia renovável foi criada no Brasil apenas em 2017. Foi uma micro usina de energia solar fotovoltaica, de 75kWp de potência instalada, na cidade de Paragominas no Pará, (Cousseau e Pan, 2018). Para se ter um melhor panorama do cenário das cooperativas de energia no Brasil é necessário se obter dados sobre a origem da energia gerada, além de caracterizar os desafios existentes nesta área, quais os requisitos para uma cooperativa de fato se enquadrar como cooperativa, assim como captação de investidores ou cooperados. Esta análise foi feita em âmbito estadual e municipal, onde foram investigados os fatores técnicos, comerciais e financeiros deste tipo de empreendimento.

1.2 Ambiente de estudo

O estudo foi ambientado no estado do Paraná, onde o modelo de geração distribuída segue regulamentações estaduais e nacionais. Essa pesquisa teve como foco de estudo o modelo de cooperativas de energia como um meio de acesso às energias renováveis por pequenos consumidores, obedecendo as normas técnicas e especificações da ANEEL e da COPEL.

Neste estudo foram avaliados os requisitos para se trabalhar com geração distribuída, utilizando energia solar e com organização de consumidores em cooperativas de energia, bem como as condições para que a energia gerada passe a integrar o Sistema Interligado Nacional. E qual a viabilidade técnica e econômica de pequenos consumidores para aderirem à essa nova modalidade de consumo.

1.3 Caracterização do problema

A geração distribuída de energia renovável apresenta diversos benefícios, tanto para o consumidor de pequeno porte, quanto ao próprio sistema elétrico. Entre eles destacam-se, para o setor elétrico, o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética (Sebrae Energia, 2018). Para o consumidor, o benefício principal é a possibilidade de redução da fatura de energia paga sem precisar apresentar o consumo de energia necessário para ingressar no mercado livre de energia ou contratar demanda com a concessionária (Schneider, 2020). Ainda assim, nota-se que uma parcela ínfima dos consumidores de pequeno porte se utiliza desta possibilidade, ou mesmo é consciente de que é possível obter benefícios decorrentes da geração distribuída (Schneider, 2020).

Para que o cenário seja favorável a expansão das cooperativas, e que tanto consumidores quanto o setor elétrico possam usufruir dos benefícios elencados, se faz necessário um entendimento dos fatores necessários para criar cooperativas que

sejam sustentáveis e lucrativas. Por fim, a geração de energia por meio de fontes renováveis pode representar parte importante na solução do aumento da demanda por energia (Schneider, 2020). Esta relevância também precisa ser evidenciada e apresentada como uma alternativa viável para diversificação da matriz energética nacional.

Este trabalho se propõe a responder à seguinte pergunta: Qual a viabilidade técnica e econômica da formação de uma cooperativa de energia por pequenos consumidores em Curitiba?

1.4 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a viabilidade técnica e econômica da criação de uma cooperativa de energia, utilizando energia solar fotovoltaica, na cidade de Curitiba. Além de levantar quais os desafios a serem superados para o aumento deste tipo de empreendimento.

Os objetivos específicos são:

- Realizar revisão bibliográfica sobre critérios de classificação sobre micro e minigeração distribuída, trazendo a luz o panorama atual da área, bem como os avanços na legislação;
- Conceituar uma cooperativa de energia dentre os demais empreendimentos relacionados a geração distribuída, bem como os critérios de micro e minigeração distribuída a serem seguidos pelas cooperativas, em vista das normas mais recentes;
- Realizar revisão bibliográfica sobre sistemas fotovoltaicos de geração de energia, em linha com o estado da arte, bem como seus principais componentes, de acordo com o que há de disponível atualmente no mercado;
- Analisar a viabilidade de implantação técnica e econômica do modelo de cooperativa de energia, utilizando energia solar, para diferentes cenários, em Curitiba.

1.5 Justificativa

O estudo procurou analisar a viabilidade técnica e econômica para se criar uma cooperativa de energia, utilizando energia solar, com foco em pequenos consumidores, na cidade de Curitiba. Uma vez que a expansão da geração de energia advinda de matrizes hídricas é limitada por condições climáticas e hidrológicas, o modelo de cooperativa se valendo de fonte solar é um forte candidato a suprir parte da demanda nacional de energia. Buscando contribuir com o cenário no estado do Paraná, bem como utilizar normas e fatura da COPEL, Curitiba foi a cidade adotada para o estudo.

Além disso, a conscientização sobre esta forma de consumir energia pode trazer vantagens para o pequeno consumidor, como acesso à energia com valores competitivos, redução da fatura de energia e popularização do uso de energia solar. Não obstante, o crescimento de cooperativas do tipo tem potencial para estimular a economia local, gerando mais oportunidades de emprego nas áreas de instalação, manutenção e suporte técnico de sistemas de geração fotovoltaicos.

1.6 Conteúdo do trabalho

O presente trabalho é composto por cinco capítulos:

1. Introdução ao tema estudado, apresentando o contexto e o ambiente no qual o problema está inserido, a caracterização do problema, objetivos a serem atingidos e a justificativa para realização do trabalho;
2. Fundamentação teórica do tema, apresentando o conhecimento existente sobre as áreas de estudo pertinentes ao trabalho, baseada em trabalhos semelhantes;
3. Proposta de criação de cooperativa de geração de energia solar fotovoltaica para 3 cenários de consumo distintos. Breve descrição da metodologia que foi utilizada para pesquisa e apresentação das etapas práticas para atingir o objetivo proposto;

4. Apresentação dos resultados do trabalho, evidenciando as etapas para criar uma cooperativa de energia para 3 cenários de pequenos consumidores em Curitiba, bem como uma discussão sobre os dados numéricos obtidos acerca da viabilidade técnica e econômica das cooperativas nos 3 cenários propostos.
5. Por fim, discussão das conclusões do trabalho, comparando o resultado final com o que foi proposto e apresentando sugestões para futuros trabalhos na área.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta alguns trabalhos relacionados que foram utilizados como referencial teórico para desenvolvimento da pesquisa. Também foi detalhado a metodologia empregada para construção do trabalho. As seções a seguir tratam de trabalhos publicados que abordam temas correlatos, assim como informações pertinentes para execução do trabalho proposto.

Foi apresentada a metodologia, seguido do conceito de micro e minigeração distribuída, os diferentes modelos comerciais disponíveis para geração distribuída, passando para cooperativas de energia solar fotovoltaicas, onde se incluiu um breve histórico, definições normativas e as características da legislação brasileira no que diz respeito a geração distribuída e a cooperativas de energia, limitações e barreiras, vantagens e benefícios sociais. Por fim, foram abordados os componentes de um sistema de geração de energia elétrica que utiliza fonte solar.

2.1 Metodologia

A metodologia partiu de um estudo bibliográfico, e visou desenvolver mais conhecimento e embasamento teórico sobre o assunto apresentado.

Obedecendo os critérios que classificam uma pesquisa como descritiva, avaliando e descrevendo informações obtidas através do ambiente de estudo, a pesquisa considerou uma análise documental, tratando do histórico do cooperativismo na eletrificação de energia a partir de fontes renováveis, considerando as normas atuais no Brasil e no Paraná, e quais os desafios existentes atualmente.

O estudo teórico de cooperativas de energia, baseado em estudos recentes da literatura acadêmica tradicional e da literatura cinzenta (do inglês *grey literature*), uma variação da revisão sistemática de literatura, adaptada para incluir documentos não convencionais, como artigos e documentações mantidos em blogs e sites (Gama, 2022). Esse estudo serviu como embasamento para definir os elementos

fundamentais de uma cooperativa de energia, bem como um sistema de geração de energia fotovoltaico. A etapa seguinte tratou da elaboração de um projeto de implementação de uma cooperativa de energia, utilizando energia solar fotovoltaica, para 3 cenários, envolvendo consumidores com diferentes faixas de renda, na cidade de Curitiba, a fim de identificar a viabilidade técnica e econômica deste tipo de empreendimento, neste contexto específico.

2.2 Micro e minigeração distribuída

Com o crescimento histórico da geração de energia através de fontes renováveis não hídricas, houve a necessidade de regulamentar este setor. A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, definiu microgeração e minigeração de energia para qualificar a categoria de geração das instalações de menor porte. A microgeração de energia compreende centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75kW. Já a minigeração de energia é caracterizada por centrais de geração de potência com potência superior a 75kW e menor ou igual a 5MW. Ambas as modalidades devem utilizar fontes de energia renováveis e não hídricas, bem como se conectar à rede de distribuição por meio das próprias unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

Além disso, a resolução regulamenta um sistema de compensação de energia elétrica para as unidades que disponham de micro ou minigeração, onde a energia gerada é cedida à distribuidora local por meio de empréstimo e, posteriormente, compensada com o consumo de energia elétrica. Assim, se torna possível a independência do ponto de vista energético de unidades consumidoras que possuam algum tipo de geração de energia. Um ponto importante a ser ressaltado é que, nas unidades consumidoras atendidas em baixa tensão, mesmo que a energia gerada seja igual ou superior à consumida, a unidade consumidora ainda deverá pagar um valor referente ao custo de disponibilidade, os valores devem ser os equivalentes a 30 kWh, 50kWh e 100kWh para consumidores monofásicos, bifásicos e trifásicos. Já para os consumidores atendidos em alta tensão, a fatura de

energia pode ser zerada caso a energia gerada seja igual ou maior do que a consumida.

Se tornou possível também que vários consumidores se organizassem na forma de cooperativa ou consórcio podendo usufruir da energia gerada em uma unidade dotada de micro ou minigeração. O local onde ocorre a geração pode ser diferente do local das unidades consumidoras associadas. A esta forma de consumo se dá o nome de geração compartilhada. Outra possibilidade é o autoconsumo remoto, onde as unidades consumidoras pertençam a mesma pessoa jurídica ou física, a energia gerada em uma das unidades pode ser utilizada para compensação de uma outra unidade. Tanto para a geração compartilhada, quanto para o autoconsumo remoto, as unidades consumidoras devem ser atendidas pela mesma distribuidora de energia.

A possibilidade de se organizar desta maneira, fez com que inúmeras opções se abrissem, tanto para os consumidores atendidos em baixa tensão, quanto para os atendidos em alta tensão. É possível, por exemplo, construir uma instalação fotovoltaica de geração de energia num telhado que seja arrendado de outra unidade consumidora, e então organizar uma cooperativa de energia reunindo outros consumidores e utilizar a energia gerada para abater das faturas individuais de cada um deles.

2.3 Diferentes modelos de compensação para geração distribuída

Nas próximas sessões, foram apresentados os diferentes modelos de compensação possíveis para se utilizar geração distribuída. Sendo eles: geração junto a carga, autoconsumo remoto, consórcio e cooperativa.

2.3.1 Geração distribuída junto à carga

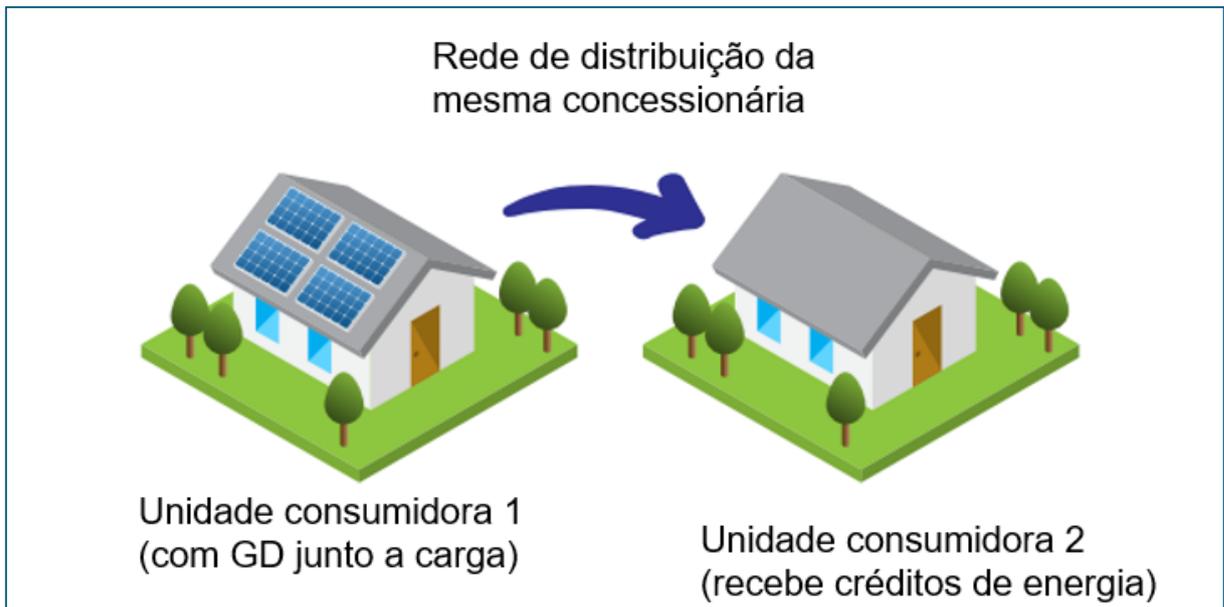
O primeiro modelo se aplica quando o consumidor deseja instalar geração distribuída junto a carga que deseja alimentar. Para se adequar a esta modalidade, o consumidor deverá solicitar a concessionária a conexão do sistema de geração que deseja implantar. Também é necessária a instalação de um medidor de energia bidirecional para contabilizar a energia gerada e consumida, tornando possível identificar se a energia gerada supriu parcial ou totalmente a demanda do consumidor, de forma a gerar créditos de energia (caso a energia total exceda a demanda), ou cobrança da parcela de energia oriunda da concessionária que foi consumida (ANEEL, 2023a).

2.3.2 Autoconsumo remoto

Viável para pessoas físicas ou jurídicas, quando o consumidor é o titular mais de uma unidade consumidora e instalou geração distribuída em pelo menos uma destas propriedades, ele pode optar pelo autoconsumo remoto. Nesta modalidade, a energia excedente da unidade consumidora onde está instalado o sistema de geração pode ser utilizada para compensar a fatura de uma outra unidade consumidora. Vale salientar que, para que seja possível essa compensação, as unidades consumidoras devem ser atendidas pela mesma distribuidora de energia (ANEEL, 2023a).

Na Figura 1, pode-se ver um exemplo de autoconsumo remoto. As unidades consumidoras um e dois possuem mesma titularidade, e a energia excedente gerada na unidade consumidora um pode ser utilizada para compensação da tarifa da unidade consumidora dois, uma vez que ambas são atendidas pela mesma distribuidora.

Figura 1 - Exemplo de autoconsumo remoto.



Fonte: Adaptado de <https://usinasbrasil.com.br/solar/> (2024)

2.3.3 Geração distribuída em condomínios

A resolução normativa 1059, de 2023 (ANEEL, 2023a), atualizou as definições da resolução normativa 687, de 2015 (ANEEL, 2015), sobre empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras (condomínios) que possuam geração distribuída. De acordo com a resolução, é possível que condomínios verticais (edifícios) ou horizontais (casas) instalem um sistema de geração de energia e abatam os créditos gerados das unidades consumidoras que compõem o condomínio. O texto especifica algumas condições para que o empreendimento se caracterize neste modelo. As unidades consumidoras devem estar na mesma propriedade, ou em propriedades contíguas, não podendo haver separação por vias públicas ou propriedades de terceiros. Além disso, define que a responsabilidade pela unidade consumidora onde está instalado o sistema de geração de energia seja do condomínio, da administração, ou do proprietário do empreendimento.

Nesta modalidade, são possíveis algumas configurações envolvendo a compensação da energia gerada entre a unidade consumidora do condomínio, que

alimenta cargas da área comum, com as unidades consumidoras de cada um dos moradores. O Quadro 1 exemplifica os casos possíveis.

Quadro 1 - Opções de faturamento para condomínios com geração distribuída.

Unidades consumidoras envolvidas	Forma de faturamento
Apenas UC do condomínio	Toda a energia gerada é utilizada para abater o consumo da UC do condomínio. O excedente é transformado em créditos que só podem ser utilizados pela UC do condomínio.
Apenas UC's dos moradores	A energia gerada é totalmente transformada em créditos, utilizados para abater as faturas das UC'S dos moradores do condomínio. O condomínio deverá informar previamente a concessionária os percentuais dos créditos destinados a abater a fatura de cada condômino.
UC do condomínio e UC's dos moradores	A energia gerada é totalmente transformada em créditos, utilizados para abater tanto as faturas das UC'S dos moradores do condomínio quanto da UC do próprio condomínio. O condomínio também deverá informar previamente a concessionária os percentuais dos créditos destinados a abater a fatura de cada UC.

Fonte: adaptado de ANEEL (2023)

2.3.4 Geração compartilhada

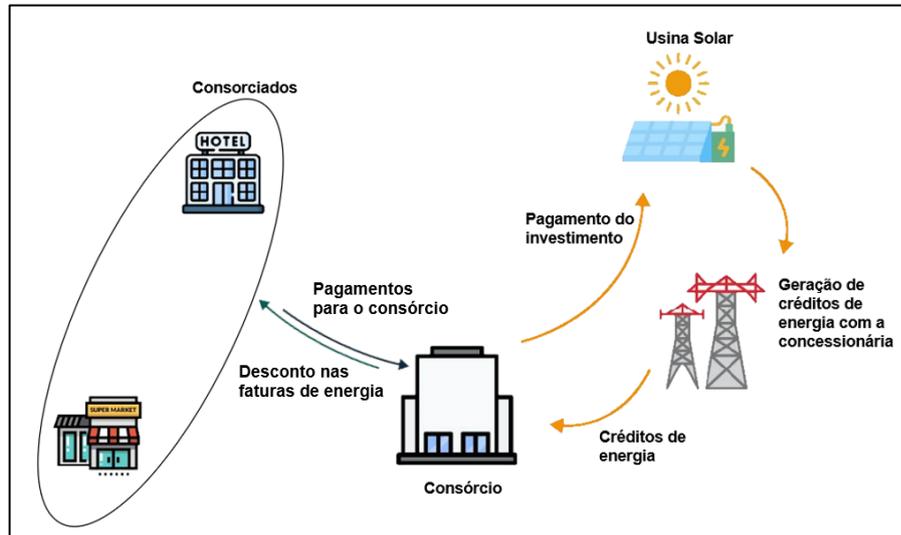
A seguir, foram apresentadas as características particulares dos consórcios e cooperativas de energia, bem como as diferenças entre estes dois modelos.

2.3.4.1 Consórcios

O consórcio é um modelo comercial que envolve a reunião de empresas, pessoas jurídicas, para investirem num sistema de geração fotovoltaico e compartilharem os benefícios obtidos pela geração distribuída (Moura Netto, 2022). A lei que regulamenta os consórcios no Brasil é a Lei 6404, de 1976. A lei determina

que o consórcio precisa se inscrever no CNPJ, bem como ser o titular da unidade consumidora onde está instalado o sistema de geração fotovoltaico (Brasil, 1976). A Figura 2 exemplifica o funcionamento básico de um consórcio.

Figura 2 - Funcionamento do consórcio.



Fonte: adaptado de <https://consorciosantafe.com.br> (2023)

Conforme a Figura 2 exemplifica, o Consórcio atua como instrumento que viabiliza o acesso à energia solar fotovoltaica e, assim, desconto na fatura de energia, aos consorciados. Um fato a se destacar sobre os consórcios é a existência de um contrato de prestação de serviço, que inclui um prazo previamente determinado para a operação do consórcio, bem como as atribuições e responsabilidades das partes envolvidas (Junior *et al.*, 2018).

2.3.4.2 Cooperativas

A lei 5764, de 1971, define como cooperativa “pessoas que reciprocamente se obrigam a contribuir com bens ou serviços para o exercício de uma atividade econômica, de proveito comum, sem objetivo de lucro” (Brasil, 1971). Pode-se extrapolar esta definição jurídica e afirmar, conforme dito por Lima, que as cooperativas são instrumento que pode ser utilizado por pessoas que queiram se reunir voluntariamente para satisfazer necessidades de ordem econômica, social, ou cultural que sejam comuns a este grupo (Lima, 2018).

Saindo de um âmbito geral e tratando sobre energia elétrica, a resolução normativa 482, de 2014, da ANEEL foi a que definiu as bases para criação de cooperativas que visem a geração de energia elétrica vinda de fontes renováveis. Atualmente, a resolução normativa 1059, de 2023, é a mais atualizada no que diz respeito a cooperativas de energia elétrica, substituindo a resolução 482 (ANEEL 2023).

Para se formar uma cooperativa de energia elétrica, a lei estabelece que o grupo interessado seja de no mínimo de 20 pessoas (20 CPFs distintos). Todas as unidades consumidoras devem ser atendidas pela mesma concessionária de energia, porém não precisam necessariamente estarem em propriedades contíguas, como é o caso dos empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras (ANEEL, 2023a). Além disso, é permitida a participação de pessoas jurídicas (empresas), contanto que a atividade comercial exercida seja semelhante às da cooperativa, ou que não possuam fins lucrativos (Brasil, 1971).

Quando comparados, existem algumas diferenças entre os consórcios e as cooperativas. Moura Netto (2022) destaca as cinco abaixo como principais:

1. **Motivação:** enquanto o consórcio é promovido por uma administradora, a fim de prestação de um serviço para consumidores interessados, a cooperativa consiste na reunião de pessoas com interesses comuns.
2. **Componentes:** No consórcio, pessoas físicas e jurídicas são permitidas sem quaisquer limitações. Já nas cooperativas, a participação só é permitida por parte de pessoas jurídicas com atividade correlatas ou sem fins lucrativos.
3. **Tempo de duração:** determinado de maneira contratual nos consórcios e indeterminado nas cooperativas.
4. **Responsabilidade:** delimitada por contrato em consórcios, e limitado de acordo com a quantidade de quotas ou utilização do serviço nas cooperativas.
5. **Relação entre os integrantes:** limitada por contrato nos consórcios, enquanto nas cooperativas esta relação possui um viés de coletividade muito maior, inerente a ideologia em que este modelo se baseia.

Quanto as semelhanças entre cooperativas e consórcios, podemos destacar o fato de que a área com a instalação de geração de energia deve ser de

propriedade ou posse direta da organização, os equipamentos utilizados para geração de energia podem ser alugados ou arrendados. É necessário haver um instrumento jurídico que comprove o compromisso entre os participantes, e que o percentual de energia gerado a ser abatido das faturas de cada unidade consumidora deve ser informado previamente a concessionária (Greener, 2021).

Oliveira (2022), destaca que o segmento de consumidores para o qual o modelo de cooperativa é mais compatível, são os pequenos consumidores que estejam impossibilitados de se juntarem na forma de empreendimento com múltiplas unidades consumidoras. Isto pode acontecer por conta de alguma limitação para instalação de sistemas de geração de energia em sua residência, sejam físicas ou econômicas. Moura Netto (2022), por sua vez, inclui pequenas e médias empresas neste segmento, caracterizando-os como consumidores do grupo B, cujo fornecimento de energia se dá por tensão inferior a 2,3kV e possuem tarifa monômnia (ANEEL, 2022).

2.4 Cooperativas de energia solar fotovoltaica

2.4.1 Histórico

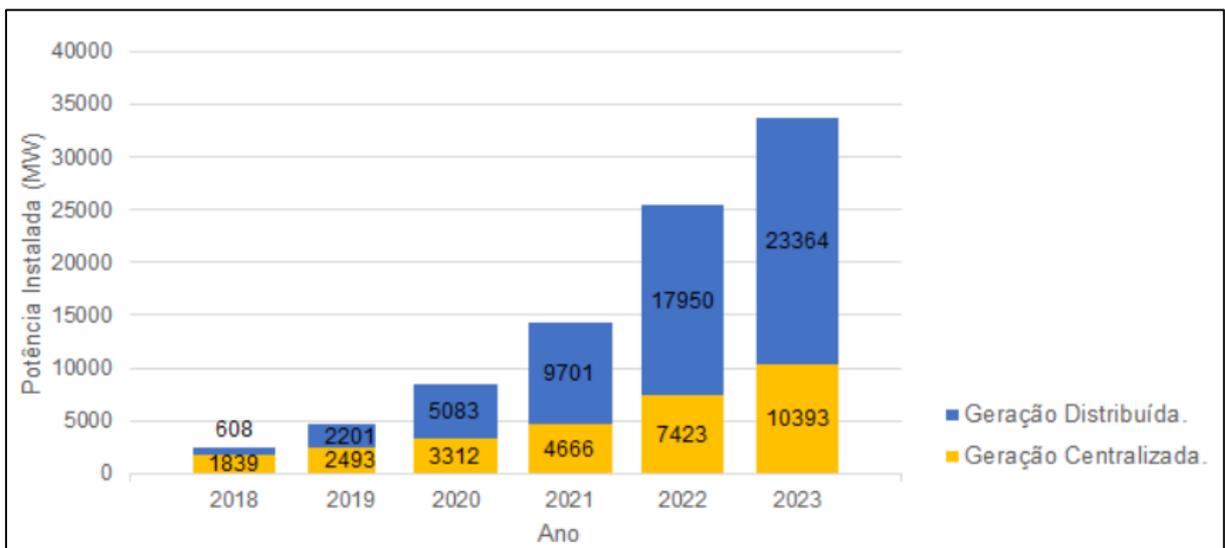
Pode-se dizer que a aplicação da energia solar, para além dos fins de aquecimento e secagem, começou a ocorrer a partir dos estudos do físico Alexandre-Edmond Becquerel, em 1839. Na época, o físico percebeu que determinados tipos de materiais produziam pequenas tensões elétricas quando expostos a luz, o que lançou a base para a compreensão do fenômeno do efeito fotovoltaico (Silva, 2020). Apesar disso, segundo Vargas (2023), a tecnologia de geração de energia se utilizando do efeito fotovoltaico evoluiu de maneira mais acentuada a partir de 1954, quando o processo de dopagem do silício foi aprimorado.

Alguns experimentos com células fotovoltaicas foram feitos na década de 50, como em 1955, na cidade de Americus, no estado da Georgia, nos Estados Unidos

da América. Um arranjo de células fotovoltaicas foi montado na cidade para alimentação da rede elétrica local. O experimento durou entre 5 e 6 meses, tempo suficiente para perceber que o custo das células ainda era muito elevado nesta época, o que o restringiu a aplicações mais específicas, como por exemplo na geração de energia por satélites lançados ao espaço. De fato, durante o período da corrida espacial, as células solares passaram a ser fontes primordiais de energia dos satélites estadunidenses (De Menezes *et al.*, 2023).

No Brasil, o mercado de energia solar vive um momento de franca ascensão. Segundo o panorama número 59, da ABSOLAR, entre o ano de 2018 e setembro de 2023, a potência total referente a sistemas de geração fotovoltaicos instalada no país, somando as modalidades centralizada e distribuída, cresceu mais de 10 vezes, como pode se constatar na Figura 3.

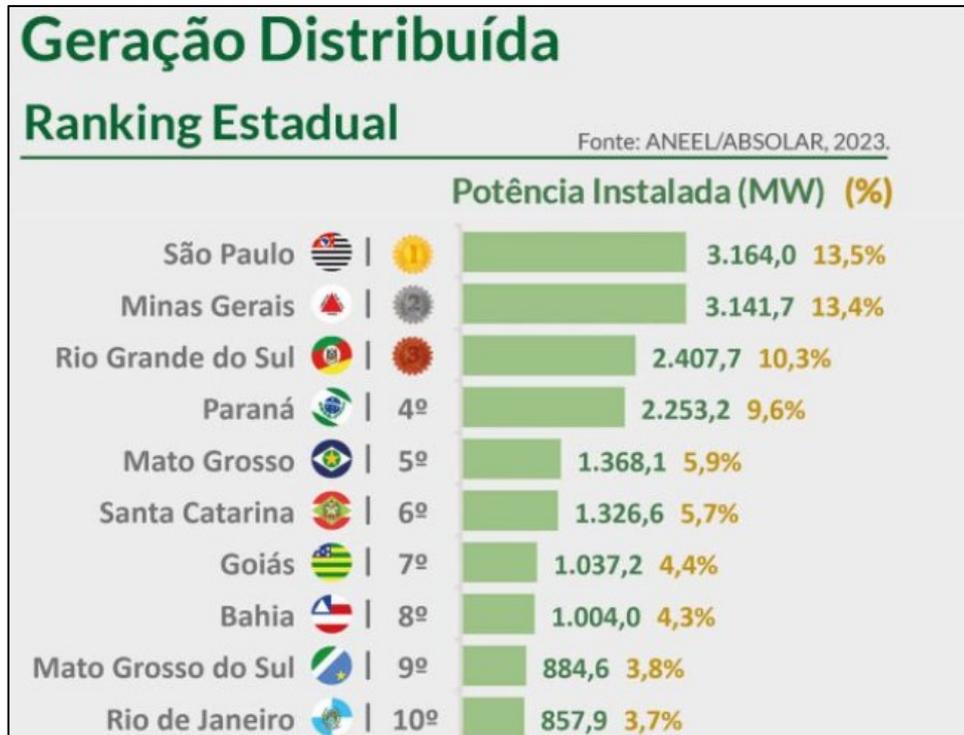
Figura 3 - Evolução da fonte Solar Voltaica no Brasil.



Fonte: adaptado de <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico> (2023)

Analisando em específico o panorama da geração distribuída, ainda de acordo com a ABSOLAR, em setembro de 2023, o estado do Paraná possuía uma potência instalada de 2253,2 MW em sistemas de geração fotovoltaicos. Isto equivale a aproximadamente 9,6% da potência total instalada no Brasil, nesta modalidade (ABSOLAR, 2023). A Figura 4 traz o ranking com os 10 estados com maior potência instalada no país para geração fotovoltaica, em setembro de 2023, e coloca o Paraná em quarto lugar neste ranking.

Figura 4 - Ranking estadual de potência instalada em sistemas de geração fotovoltaica na modalidade geração distribuída.



Fonte: adaptado de <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico> (2023)

2.4.2 Definições normativas

No Brasil, a lei que institui o regime jurídico das cooperativas é a lei 5764, de 1971. Esta lei regulamenta a criação, organização e funcionamento de uma cooperativa em território nacional (Brasil, 1971). Além disso, estabelece uma série de princípios fundamentais a serem seguidos pelas cooperativas, como: adesão voluntária e livre, gestão democrática, participação econômica dos membros, autonomia e independência, e promoção de educação, formação e informação acerca dos princípios e benefícios do cooperativismo entre seus membros (Lima, 2018).

Desde 2022, a lei que regulamenta cooperativas no âmbito de energia é a lei 14300 (Brasil, 2022). Nela, a seguinte definição é encontrada no artigo primeiro:

“Geração compartilhada: modalidade caracterizada pela reunião de consumidores, por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação civil, instituída

para esse fim, composta por pessoas físicas ou jurídicas que possuam unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora” (BRASIL, 2022).

Além das duas leis acima, a ANEEL publicou algumas resoluções normativas para estabelecer regras para a geração distribuída no Brasil, bem como o sistema de compensação de tarifa por meio da injeção do excedente de energia gerado na rede. A primeira delas foi a resolução normativa 482, de 2012 (ANEEL, 2012). Em 2015 alguns ajustes foram apresentados por meio da resolução normativa 687 (ANEEL, 2015). Até o momento da escrita deste trabalho, a resolução normativa 1059, de 2023, é a resolução mais atualizada em relação as regras para conexão e faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída (ANEEL, 2023a).

2.4.3 Limitações e barreiras

Devido à geração distribuída ser um modelo novo se comparado aos demais, também são novas as características necessárias para que uma unidade geradora se encaixe como cooperativa de energia. As cooperativas devem atender aos critérios específicos definidos pela ANEEL, bem como estar atentas para atualizações nas resoluções normativas que possam influenciar sua operação. A central geradora deve utilizar fontes renováveis ou cogeração qualificada, e possuir até 3MW de potência instalada para geração fotovoltaica, ou 5MW para demais fontes renováveis ou cogeração qualificada, que atendam aos requisitos definidos pela Resolução Normativa (ANEEL, 2023a).

Além disso, a falta de conhecimento sobre este modelo também é uma barreira encontrada para criação de mais cooperativas. A pouca compreensão do modelo cooperativista, cujas regras gerais são encontradas no Código Civil, na Lei n.5.764/71 (Brasil, 1971), bem como a falta de modelos que possam servir de guia para estabelecimento de novas cooperativas, devido ao ineditismo delas, pode ser considerada uma barreira a ser vencida. Pode-se dizer o mesmo sobre o entendimento no que diz respeito aos aspectos técnicos e regulatórios desta modalidade.

Não obstante as barreiras de ordem técnicas e regulatórias, muitas vezes o valor inicial necessário para o investimento na infraestrutura de geração, ante ao prazo de retorno do valor na forma de compensação da fatura de energia acaba desincentivando uma parcela dos interessados no modelo, evidenciando o fato de que um modelo adequado de financiamento para este tipo de iniciativa é primordial para o crescimento e popularização das cooperativas de energia.

Analisando a geração de energia solar fotovoltaica no país, em agosto de 2023 o Brasil possuía 33.757 MW de potência total instalada. Desta potência, 23364 MW são provenientes de geração distribuída. Tratando-se especificamente do estado do Paraná, a potência instalada era de 2.253,2 MW (ABSOLAR, 2023). Quando comparamos este último valor com a potência total instalada no Paraná para todas as fontes, que no ano de até agosto de 2023 se encontrava em 17.865MW (ANEEL, 2023a), podemos perceber que a energia solar fotovoltaica, na modalidade de geração distribuída ainda pode ocupar um percentual maior dentro da capacidade instalada total do estado.

2.4.4 Vantagens

Do ponto de vista técnico, Greener (2021) defende que a principal vantagem trazida pelas cooperativas de energia é a possibilidade de aumento de escala no projeto do sistema de geração fotovoltaico, o que se reflete num menor custo de investimento por parte dos cooperados, quando comparados aos custos de implantação de geração junto a carga de maneira separada para cada um dos consumidores. A economia no modelo de cooperativa pode chegar a 30% em alguns casos (Cousseau e Pan, 2018).

Cousseau e Pan (2018) destacam que a cooperativa traz mais flexibilidade aos cooperados em relação a mudanças de endereço. É possível para qualquer cooperado se mudar para um novo endereço e continuar a usufruir dos créditos gerados pelo SGFV da cooperativa, contanto que o novo endereço continue sendo atendido pela mesma concessionária de energia.

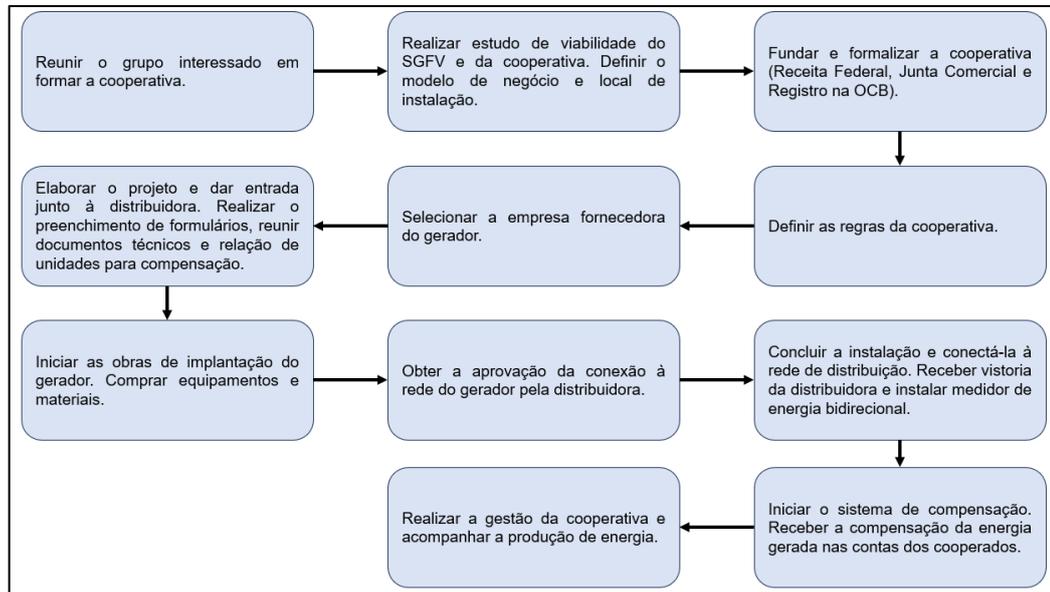
Moura Netto (2022), conclui que fazer parte de uma cooperativa de energia também representa uma alternativa para democratizar o acesso à energia de fonte renovável para os consumidores que sejam impossibilitados de instalar um sistema de geração de energia em sua própria unidade consumidora. Além disso, ainda traz como vantagem o fato de a usina fotovoltaica poder ser instalada na unidade consumidora com melhores características de irradiância solar, o que também ajuda na otimização do projeto do SGFV.

Por fim, cooperativas de energia também geram uma série de benefícios sociais. Cooperativas são agentes de transformação para comunidades locais, principalmente por inspirarem a cooperação entre seus membros num espectro mais amplo do que simplesmente cumprir com obrigações contratuais. Laços sociais são fortalecidos entre os cooperados, e podem dar origem a futuras iniciativas que fortaleçam a economia local, seja na área de geração de energia ou mesmo em outras completamente distintas (Lima, 2018).

2.4.5 Etapas para fundação de uma cooperativa

De acordo com a Organização das Cooperativas Brasileiras (OCB), a criação de uma cooperativa de energia fotovoltaica envolve 11 etapas (Lima, 2018). A Figura 5 traz um resumo de cada uma delas.

Figura 5 - Diagrama demonstrativo das etapas para criação de uma cooperativa de energia solar fotovoltaica.



Fonte: adaptado de Lima (2018)

2.5 Sistemas de geração fotovoltaicos

A seguir, foram apresentados os tipos de sistema de geração fotovoltaicos, bem como os elementos que compõem um sistema de geração fotovoltaico, funcionamento e comportamento.

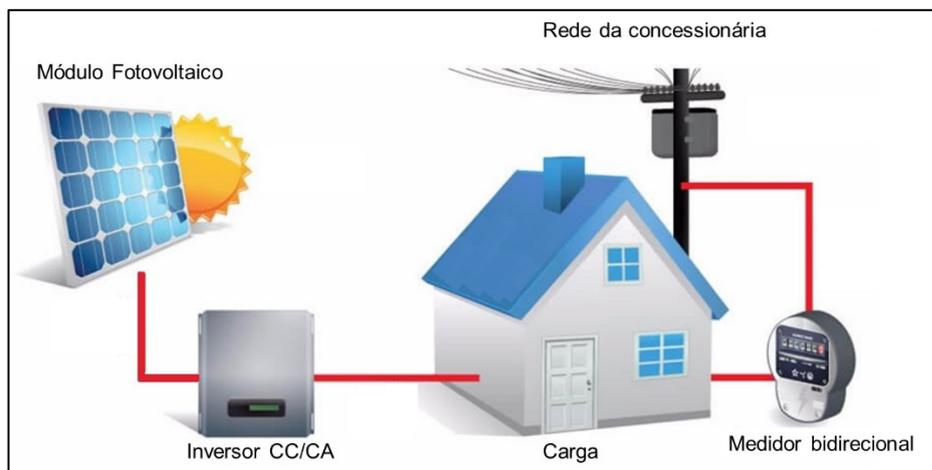
2.5.1 Isolados (off-grid)

São considerados sistemas isolados (off-grid) os sistemas não ligados a rede de nenhuma concessionária e, por consequência, não conectados ao SIN. Geralmente, adota-se um sistema isolado em localidades muito remotas, fazendo-se necessária a utilização de bancos de baterias para armazenar a energia gerada. Por conta disso, os custos de implantação de um sistema isolado são significativamente maiores dos de um de mesma potência total instalada, porém conectado à rede.

2.5.2 Conectados à rede (on-grid)

Trata-se dos sistemas conectados à rede elétrica e ao SIN. Conectar um sistema de geração fotovoltaico a rede, tornando possível a instalação de um sistema sem banco de baterias. A energia gerada é utilizada para alimentar as cargas da unidade consumidora, e eventuais excedentes são enviados a rede. Analogamente, quando o sistema não é capaz de alimentar todas as cargas de sua unidade consumidora, é possível consumir potência da concessionária. Ao longo do tempo, a concessionária contabiliza o saldo de potência gerada *versus* potência consumida para geração de créditos de energia, ou cobrança na fatura de energia (Mariano e Urbanetz Junior, 2022). A Figura 6 exemplifica um sistema de geração fotovoltaico conectado à rede.

Figura 6 - Diagrama demonstrativo de um sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: adaptado de <https://baoribeiro.com.br/blog/sistema-de-energia-on-grid-como-funciona> (2022)

Vale salientar que, no caso dos sistemas conectados à rede, a fatura de energia elétrica nunca será nula, pois cabe ao consumidor pagar um valor mínimo, designado custo de disponibilidade. Este consumo é apresentado na fatura como um valor mínimo em kWh, a depender da tensão de atendimento e classe de consumo. A resolução normativa 1000 da ANEEL define os valores da Tabela 1 como custo de disponibilidade, de acordo com o tipo de consumidor (ANEEL, 2021a), bem como o valor em reais a ser pago, de acordo com o valor do kWh cobrado no mês de outubro de 2023 para consumidores atendidos pela COPEL.

Tabela 1 - Custo de disponibilidade em kWh para consumidores do grupo B1.

Entrada de energia	Custo de disponibilidade (kWh)	Valor na fatura de energia (R\$)
Monofásica ou bifásica a dois condutores	30	R\$24,25
Bifásica a três condutores	50	R\$40,41
Trifásica	100	R\$80,83

Fonte: adaptado de ANEEL (2021a)

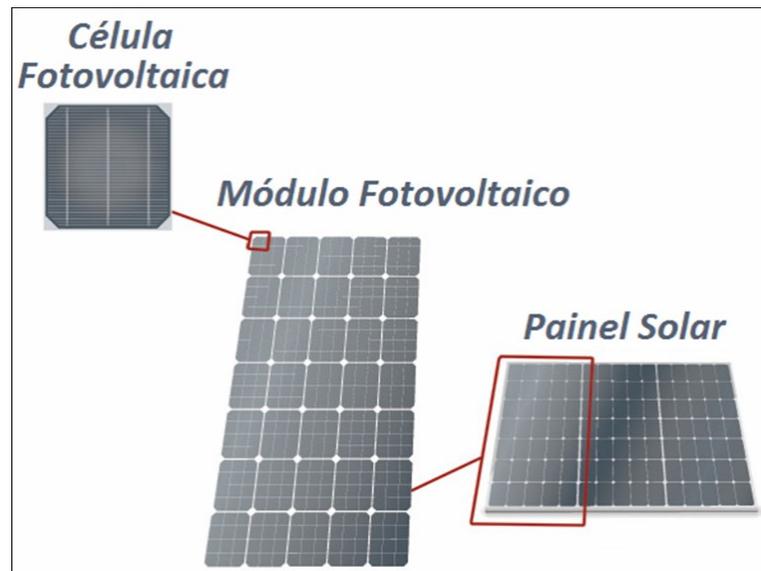
2.5.3 Componentes e funcionamento

As sessões seguintes apresentam os componentes fundamentais para um SGFV, bem como suas características de funcionamento e propriedades particulares.

2.5.4 Célula fotovoltaica

A NBR10899 (ABNT, 2006) conceitua célula fotovoltaica como “*dispositivo elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica*”. Através do efeito fotovoltaico, a célula é capaz de produzir energia quando exposta a luz solar. Em se tratando de geração de energia, todo sistema terá seu rendimento influenciado por diversas variáveis. Ainda segundo a norma citada acima, um conjunto de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas formam um módulo fotovoltaico. Um ou mais módulos interligados eletricamente formando uma única estrutura constituem um painel fotovoltaico que, por sua vez, também pode ser interligado a outros painéis configurando um arranjo fotovoltaico, conforme a Figura 7.

Figura 7 - Célula, módulos e painéis fotovoltaicos.



Fonte: <https://www.recicloteca.org.br/noticias/fontes-de-energia-alternativa-energia-solar/attachment/celula-modulo-painel/M> (2016)

Nas subseções a seguir, serão abordadas as características que diferenciam os tipos de células fotovoltaicas, assim como quais combinações podem ser feitas entre elas para formação de módulos, painéis e arranjos fotovoltaicos.

2.5.4.1 Silício monocristalino

De acordo com Mariano e Urbanetz Junior (2022), células de silício monocristalino se utilizam de um cristal de silício ultrapuro para ser fabricadas. Este cristal é fatiado para obtenção de lâminas de silício individuais, que recebem tratamento para se transformarem em células fotovoltaicas.

Atualmente, estudos indicam uma eficiência média de 18% para células de silício monocristalino, ou seja, de toda a radiação solar captada, 18% é convertida em energia. Também pode-se dizer que possuem uma vida útil maior que 30 anos. Uma outra característica que vale a pena destacar é que sistemas de geração com silício monocristalino ocupam proporcionalmente menos espaço quando comparados a outros materiais, devido a sua maior eficiência na conversão da radiação solar em energia elétrica. Em contrapartida, estes sistemas possuem os

custos mais elevados dentre todos os tipos de materiais empregados (Mariano e Urbanetz Junior, 2022).

2.5.4.2 Silício policristalino

Obtidas a partir de um processo chamado fundição de cristais, as células de silício policristalino são mais baratas se comparadas as de silício monocristalino. Sua durabilidade também é maior do que 30 anos, e a quantidade de silício residual gerado ao longo do corte das células fotovoltaicas é menor, o que implica num desperdício proporcionalmente menor.

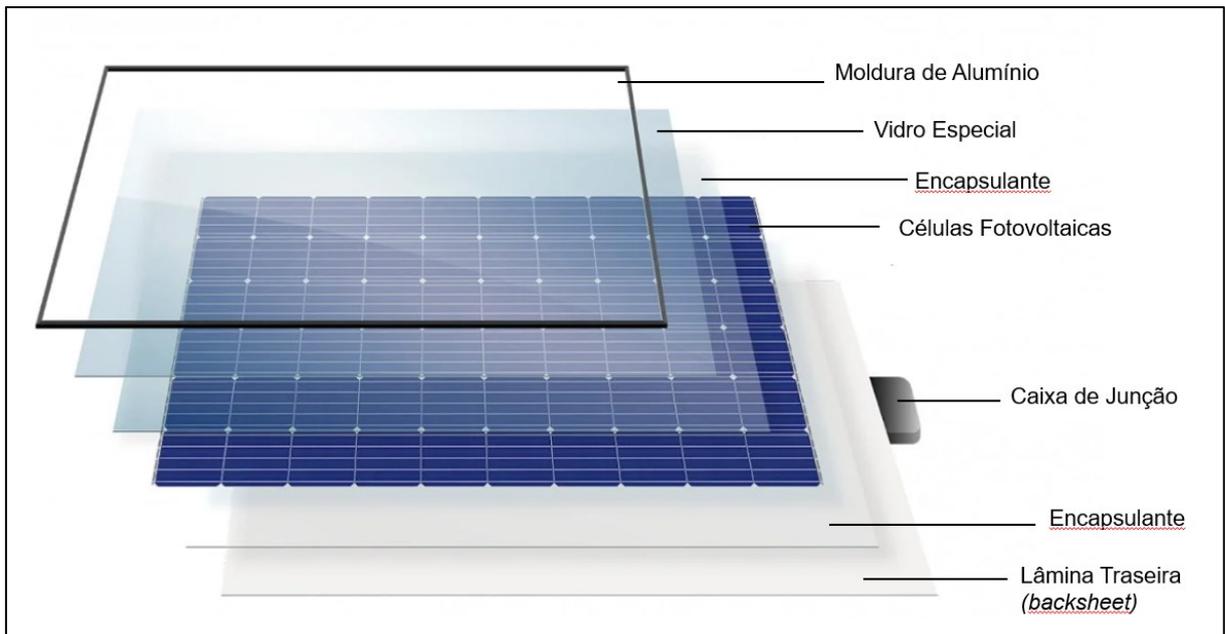
Sua eficiência é inferior as de silício monocristalino, sendo 15% o valor médio. Assim, também se faz necessária uma área maior para gerar a mesma quantidade de energia que um sistema feito a partir de silício monocristalino (Mariano e Urbanetz Junior, 2022).

2.5.5 Módulo

Como abordado anteriormente, as células fotovoltaicas são a unidade básica de conversão de energia solar em eletricidade. A partir de um conjunto de células fotovoltaicas ligadas eletricamente sobre uma estrutura rígida, é feito um módulo fotovoltaico. A NBR10899 (ABNT, 2006) define módulo como “unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas”. As células são geralmente ligadas em série, para obter tensões mais altas na saída do módulo.

Além da ligação elétrica entre as células fotovoltaicas, o módulo apresenta outros elementos que buscam proteger as células de intempéries, prover isolamento elétrico entre as células e qualquer elemento externo ao conjunto, bem como fornecer rigidez mecânica para o módulo, de forma a facilitar sua instalação. A Figura 8 mostra os elementos de um módulo fotovoltaico:

Figura 8 - Elementos do módulo fotovoltaico.



Fonte: adaptado de <https://blog.solfacil.com.br/energia-solar/elementos-construtivos-do-modulo-fotovoltaico/> (2023)

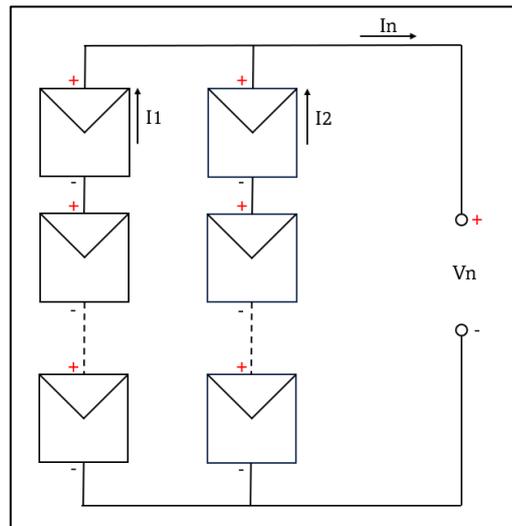
Conforme a Figura 8 exemplifica, as células fotovoltaicas do módulo estão protegidas por um filme encapsulante feito de etileno acetato de vinilo (EVA), transparente e isolante, que protege as células do envelhecimento causado por raios UV, temperaturas altas e umidade. Um tipo de vidro especial, conhecido como vidro fotovoltaico, oferece uma proteção maior a chuvas severas e granizo. Este vidro é fabricado de maneira a apresentar o menor índice possível de reflexão solar, bem como para deixar passar a maior quantidade de luz até as células fotovoltaicas. Por cima de tudo isso ainda há uma moldura de alumínio que ajuda a fornecer uma maior rigidez mecânica a todo o conjunto.

Por baixo do encapsulante, ainda se encontram a lâmina traseira (*backsheet*) e a caixa de junção. A lâmina traseira se assemelha a um filme branco, e tem como função proteger os componentes internos do painel e agir como isolantes elétrico. A caixa de junção por sua vez recebe a conexão das *strings* (conjuntos de células ligadas em série). Além de contar com diodos de by-pass que garantem a segurança do painel, a caixa de junção também vem com os cabos e conectores especiais que serão empregados para conectar vários módulos fotovoltaicos.

2.5.6 Comportamento com diferentes ligações de módulos

Para que seja possível fornecer energia suficiente para atender a cargas maiores, é necessário fazer associações em série e paralelo dos módulos fotovoltaicos. A Figura 9 ilustra um esquema de ligação entre módulos fotovoltaicos iguais.

Figura 9 - Esquema de ligação genérico entre módulos fotovoltaicos.



Fonte: Autoria própria (2023)

Utilizando a Figura 9 como modelo, é possível demonstrar que ao se ligar módulos fotovoltaicos em série, é possível obter maiores tensões, pois a tensão de saída de cada módulo será somada. Note-se que a corrente elétrica em módulos ligados em série não é alterada. De maneira análoga, ao se incluir outros conjuntos de módulos ligados em paralelo, é possível obter maiores correntes, visto que as correntes de cada ramo em paralelo irão se somar. Neste segundo caso, a tensão nominal dos módulos ligados em paralelo não é alterada.

Através de diferentes associações em série e em paralelo, é possível determinar a tensão e corrente nominais na saída de um arranjo. Isso se faz importante para dimensionar o sistema de geração fotovoltaico para trabalhar nas faixas de tensão e correntes exigidas pelo inversor de frequência e buscador de ponto máximo, equipamentos que serão detalhados nas seções subsequentes.

2.5.7 Inversor de frequência

A NBR 10899 (ABNT, 2006) define inversor como “conversor estático de potência que converte a corrente contínua do gerador fotovoltaico em corrente alternada”. O inversor de frequência é responsável por converter a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos de corrente contínua para alternada, tornando possível a alimentação das cargas do sistema. Para os casos onde o sistema de geração fotovoltaico está conectado à rede, o inversor deve ser capaz de fornecer tensão com as mesmas características da tensão da rede, bem como operar em sincronismo com a mesma (Oliveira, 2022).

De acordo com a NBR 16149 (ABNT, 2013), para garantir um funcionamento seguro do sistema, um inversor deve possuir sua tensão de saída adequada a determinados parâmetros, como: frequência, fator de potência, faixa de variação de tensão, distorção harmônica total (THD), bem como apresentarem proteção contra ilhamento, garantindo que em caso de desligamento da rede, o inversor também se desconecte, para proteção de trabalhadores que efetuem eventuais manutenções na rede elétrica (Mariano e Urbanetz Junior, 2022).

2.5.8 Buscador de ponto máximo

A potência fornecida por um SFV varia ao longo do dia por uma série de fatores. Oliveira (2022) menciona: variações na irradiância solar do local, mudanças de temperatura e sombreamento dos módulos fotovoltaicos. Por conta disso, muitos inversores de frequência contam com um buscador de ponto de máximo. O buscador de máximo, também conhecido como MPPT (do inglês, *Maximum Power Point Tracker*), é um componente eletrônico com objetivo de monitorar continuamente a tensão e corrente dos painéis e fazer o ajuste da carga dos painéis, de forma a garantir a máxima conversão de energia do sistema, aumentando sua eficiência (Mendes Souza, 2022).

2.5.9 Banco de baterias

Banco de baterias é o elemento responsável por armazenar a energia gerada pelo SFV. São utilizados em sistemas isolados para disponibilizar energia em períodos nublados ou a noite, e em sistemas conectados a rede para aumentar a confiabilidade do fornecimento de energia para a carga alimentada, bem como para fornecer energia em horários estratégicos para o consumidor, como o horário de ponta (Campos, 2022).

2.5.10 Sistema de medição bidirecional

Para sistemas que operem num regime de compensação de energia elétrica, a resolução normativa 1059/2023 estabelece que é requisito mínimo para interface com a rede elétrica a presença de um sistema de medição de energia bidirecional (ANEEL, 2023a). A resolução estabelece que “O sistema de medição bidirecional deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede” (ANEEL, 2023a). Segundo o módulo 5 do PRODIST, para consumidores do grupo B, com entrada de energia em baixa tensão, pode-se optar entre um equipamento que faça a medição bidirecional, ou dois medidores unidirecionais, que forneçam as potências consumida e fornecida (ANEEL, 2021b).

Assim, este sistema é o responsável por aferir, de maneira fidedigna, o quanto de energia os consumidores de uma cooperativa consumiram e forneceram a rede. Desta forma, tornando possível que a concessionária faça a compensação adequada nas faturas de energia dos cooperados, referente a energia gerada pela cooperativa.

3 ANÁLISE DE COOPERATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PEQUENOS CONSUMIDORES

Os métodos utilizados no desenvolvimento desse trabalho podem ser resumidos em dois: revisão bibliográfica e estudo de caso para implementação de uma cooperativa de energia para 3 cenários distintos de consumidores.

3.1 Formação de cooperativa de energia solar fotovoltaica para 3 cenários de consumo

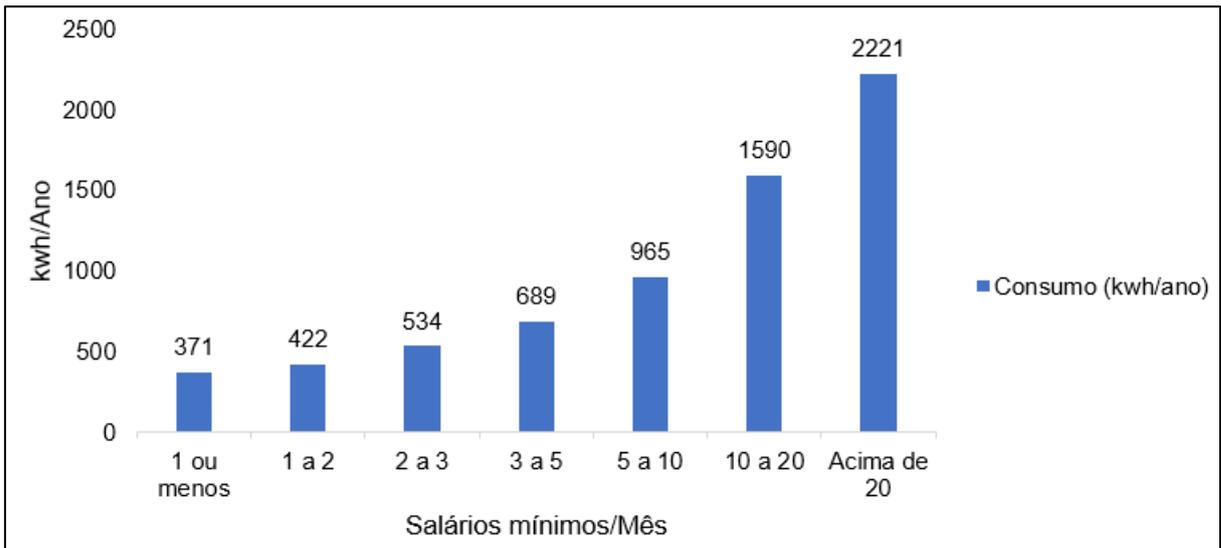
A coleta de dados através de um projeto de implantação de uma cooperativa de energia para 3 cenários diferentes de consumidores, considerando 3 faixas de renda diferentes, tem como objetivo definir o nível de viabilidade técnica e econômica de um empreendimento deste tipo.

Quanto à escolha dos potenciais consumidores para a formação da cooperativa, o grupo de consumidores adotado pelo estudo são aqueles que não podem utilizar geração distribuída em condomínios. Além disso, assumiu-se que este grupo de consumidores também não possua condições de instalar geração solar fotovoltaica em seus terrenos, seja por falta de espaço, ou de condições viáveis para geração solar, como excesso de sombreamento no terreno, por exemplo. Sobre o atendimento de energia, foram considerados consumidores, cujas unidades consumidoras de energia elétrica fazem parte do grupo B, definido pela Resolução Normativa 1000/2021, da ANEEL, como: grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV. Dentro do grupo B, os consumidores residenciais se enquadram no subgrupo B1 (ANEEL, 2021a). Também foi considerado que todos os consumidores estão dentro da área de atendimento da COPEL, possibilitando assim a compensação dos créditos de energia gerados pela cooperativa para todas as UC's participantes. Assim, fica definido que o grupo abrangido pelo estudo é composto de consumidores da cidade

de Curitiba, atendidos pela COPEL, pertencentes ao subgrupo B1 e que não sejam moradores do mesmo condomínio.

Para obtenção da demanda energética para cada um dos cenários, foi utilizado o estudo “Consumo Residencial de Energia Elétrica por Classes de Renda” (EPE, 2019). Este estudo mostra a média de consumo de energia per capita agrupada por faixa de renda. A Figura 10 demonstra os valores obtidos pelo estudo.

Figura 10 - Consumo de energia elétrica per capita em 2019, de acordo com faixa de renda.



Fonte: adaptado de <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/fact-sheet-consumo-residencial-de-energia-por-classes-de-renda> (2023)

Com base neste estudo, os 3 cenários para criação de uma cooperativa de energia serão baseados em consumidores de 3 faixas de renda distintas, conforme o Quadro 2. A quarta coluna apresenta o consumo mensal que foi utilizado como referência, sendo este uma aproximação do resultado do consumo per capita dividido por doze meses.

Quadro 2 - Cenários escolhidos para estudo de viabilidade.

Cenário	Faixa de renda (salários mínimos/mês)	Consumo de energia per capita (kWh/ano)	Consumo mensal adotado (kWh/mês)
1	1 a 2	422	35
2	3 a 5	689	57,5
3	10 a 20	1590	132,5

Fonte: Autoria própria (2023)

Para fins de comparação, foi feito o estudo de viabilidade de formação de cooperativas de energia solar fotovoltaica assumindo o mesmo número de cooperados para cada um destes cenários. Cada um dos cenários partirá do número

mínimo necessário para formar uma cooperativa, que é de 20 pessoas (CPF's). Além disso, para se aproximar de cenários reais, onde existe uma variação no consumo de energia para cada cooperado, e abranger cooperados com diferentes configurações familiares, os perfis do Quadro 3 serão adotados.

Quadro 3 - Perfis de unidades consumidoras adotados.

Tipo de perfil	Descrição	Número de pessoas
Casal	Casal sem filhos	2
Família pequena	Casal com dois filhos	4
Família grande	Casal com cinco filhos ou dividindo residência com outros parentes	7

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nas informações dos Quadros 2 e 3, este trabalho considerou que em cada um dos cenários, o grupo de 20 unidades consumidoras é formado pelo número de perfis de cada tipo, apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Composição de perfis para um grupo de 20 UC's

Tipo de perfil	Quantidade de UC's
Casal	10
Família pequena	7
Família grande	3

Fonte: Autoria própria (2023)

Obtidas todas as informações referentes ao consumo médio por pessoa e a composição de perfis das UC's para cada cenário. Os 3 cenários podem ser sintetizados no Quadro 5.

Quadro 5 - Consumo total mensal para cada cenário.

Cenário	Perfil	Quantidade de UC's	Consumo mensal (kWh/mês)	Total (kWh/mês)
1 (1 a 2 salários mínimos)	Casal	10	70	700
	Família pequena	7	140	980
	Família grande	3	245	735
2 (3 a 5 salários mínimos)	Casal	10	115	1150
	Família pequena	7	230	1610
	Família grande	3	402.5	1207.5
3 (10 a 20 salários mínimos)	Casal	10	265	2650
	Família pequena	7	530	3710
	Família grande	3	927.5	2782.5

Fonte: Autoria própria (2023)

De acordo com os valores de consumo total para cada perfil em cada cenário, pode-se chegar ao valor de demanda mensal de cada um dos cenários através da soma do consumo total de cada um dos perfis. Assim, a cooperativa criada deverá utilizar como base de valor de consumo:

1. 2415 kWh por mês para o cenário 1;
2. 3967,5 kWh por mês para o cenário 2;
3. 9142,5 kWh por mês para o cenário 3.

Assim, este trabalho se propõe a analisar a viabilidade técnica e econômica da criação de uma cooperativa de energia, utilizando energia solar fotovoltaica para cada um dos cenários descritos acima.

4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Detalhamento dos cenários

Nas sessões a seguir, foi feita a análise das demandas nos 3 cenários bem como os gastos com energia para cada perfil, de acordo com a tarifa praticada pela COPEL e o custo de disponibilidade cobrado para cada perfil. Para demonstrar as vantagens da formação de cooperativas de energia, foi considerado que em todos os cenários o grupo de consumidores não se encontra num mesmo condomínio, portanto estão impossibilitados de adotar geração distribuída em condomínio, e que nem todos os consumidores possuem condições para implantar geração fotovoltaica em seus próprios terrenos. Assim, o estudo de viabilidade foi feito focando na parcela de consumidores para qual a formação de uma cooperativa é a opção mais viável dentre os modelos existentes de utilização da geração distribuída. Um exemplo prático onde isto pode acontecer, seria a união de moradores de um mesmo bairro para formação de uma cooperativa de energia solar.

4.1.1 Cenário 1

O cenário 1 abrange consumidores onde a renda per capita seja de até dois salários mínimos, sendo considerados assim consumidores de baixa renda. Há uma diferença em relação ao custo de disponibilidade entre o perfil “casal” e os perfis “família pequena” e “família grande”. Isto acontece pois foi considerado que o fornecimento de energia para o perfil “casal” se dá através de uma ligação monofásica, enquanto os outros dois perfis utilizam uma entrada de energia bifásica. Assim, o custo de disponibilidade para o perfil “casal” é o valor equivalente a um consumo de 30kWh, e o custo de disponibilidade para os perfis “família pequena” e

“família grande” é o valor equivalente ao consumo de 50kWh. No Quadro 6, temos o detalhamento do consumo de energia que foi utilizado para dimensionar o SGFV.

Quadro 6 - Custo de disponibilidade e consumo considerado para o Cenário 1.

Perfil	Quantidade de UC's	Consumo mensal (kWh/mês)	Custo de Disponibilidade (kWh/mês)	Consumo descontando custo de disponibilidade (kWh/mês)	Consumo total por perfil (kWh/mês)
Casal	10	70	30	40	400
Família pequena	7	140	50	90	630
Família grande	3	245	50	195	585

Fonte: Autoria própria (2023)

Uma vez que o custo de disponibilidade é um valor que o consumidor deve pagar, mesmo se zerar sua fatura de energia, para diminuir a potência total do SGFV, pode-se diminuir este valor do consumo mensal. Assim, ao se multiplicar os valores da quarta coluna do Quadro 6 pelo número de UC's, chega-se aos valores na quinta coluna. Por fim, somando os valores da quinta coluna, concluímos que, para o cenário 1, o SGFV precisa ser capaz de gerar 1615 kWh por mês. Este é, portanto, o valor utilizado para dimensionamento do sistema.

4.1.2 Cenário 2

O cenário 2 abrange consumidores onde a renda per capita se encontre entre três e cinco salários mínimos, sendo considerados assim consumidores de classe média. Aqui também foi descontado o valor referente ao custo de disponibilidade. Neste caso, o valor considerado para os perfis “Casal” e “Família pequena” é o equivalente a um consumo de 50 kWh, referente a uma entrada bifásica de energia. Já para o perfil “Família grande”, o custo de disponibilidade adotado é de 100kWh, considerando uma conexão trifásica. O Quadro 7 apresenta os valores de consumo para este cenário.

Quadro 7 - Custo de disponibilidade e consumo considerado para o Cenário 2.

Perfil	Quantidade de UC's	Consumo mensal (kWh/mês)	Custo de Disponibilidade (kWh/mês)	Consumo descontando custo de disponibilidade (kWh/mês)	Consumo total por perfil (kWh/mês)
Casal	10	115	50	65	650
Família pequena	7	230	50	180	1260
Família grande	3	402,5	100	302,5	907,5

Fonte: Autoria própria (2023)

Assim como no cenário 1, podemos somar os valores da última coluna para obter o valor de energia que o SGFV deve ser capaz de fornecer para os cooperados. Desta forma, chegamos a um valor de 2817,5 kWh por mês.

4.1.3 Cenário 3

O cenário 3 abrange consumidores onde a renda per capita se encontra entre dez e vinte salários mínimos, sendo considerados assim consumidores de classe alta. No terceiro cenário, foi considerado um custo de disponibilidade de 50kWh para o perfil “Casal”, e de 100 kWh para os perfis “Família pequena” e “Família grande”. O Quadro 8 traz as informações sobre o consumo para este cenário.

Quadro 8 - Custo de disponibilidade e consumo considerado para o Cenário 3.

Perfil	Quantidade de UC's	Consumo mensal (kWh/mês)	Custo de Disponibilidade (kWh/mês)	Consumo descontando custo de disponibilidade (kWh/mês)	Consumo total por perfil (kWh/mês)
Casal	10	265	50	215	2150
Família pequena	7	530	100	430	3010
Família grande	3	927,5	100	827,5	2482,5

Fonte: Autoria própria (2023)

Somando os valores da última coluna do Quadro 8, obtemos o valor de energia utilizado para dimensionamento do SGFV neste cenário. Assim chegamos a um valor de 7642,5 kWh mensais.

4.2 Premissas adotadas para grandezas solares e outras variáveis

Nesta sessão, estão apresentadas algumas premissas de cálculo adotadas para possibilitar os cálculos de dimensionamento e retorno do investimento, apresentados na sequência do capítulo.

4.2.1 Irradiação solar

O valor de irradiação solar utilizado foi o valor médio de Curitiba, obtido por meio do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Martins *et al.*, 2017). Este valor é obtido por meio de consulta ao portal do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN). A Figura 11 mostra o mapa de Curitiba e região no portal do LABREN.

Figura 11 - Captura de tela do portal do LABREN com o mapa de Curitiba.



Fonte: adaptado de http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017_PR.html (2023)

Para utilizar esta ferramenta de consulta, é necessário pesquisar pelos valores correspondentes a cada quadrante de interesse, mostrados na Figura 11 acima. Segundo detalha o LABREN, cada quadrante possui aproximadamente 10 quilômetros por 10 quilômetros. De posse destes valores, basta consultar o tipo desejado de irradiação. Neste trabalho, optou-se por utilizar a irradiação no plano inclinado. Com estes valores, foi possível elaborar a Tabela 2.

Tabela 2 - Irradiação no plano inclinado, em Wh/m².dia em Curitiba.

ID	4186	4187	4121	4122
Longitude	-49.349	-49.249	-49.349	-49.249
Latitude	-25.401	-25.401	-25.501	-25.501
Janeiro	3495	3470	3495	3496
Fevereiro	3648	3623	3606	3584
Março	3415	3336	3311	3281
Abril	3193	3163	3133	3184
Maio	2868	2841	2876	2917
Junho	2841	2881	2803	2881
Julho	2966	2964	2913	2984
Agosto	4262	4224	4168	4204
Setembro	2680	2606	2654	2629
Outubro	2573	2487	2558	2565
Novembro	3473	3386	3447	3434
Dezembro	3729	3661	3725	3663
Média	3262	3220	3224	3235

Fonte: adaptado de http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017_PR.html (2017)

A Tabela 2 nos mostra os valores de irradiação solar ao longo dos meses para os quatro quadrantes que abrangem a cidade de Curitiba, bem como e a média anual por dia. Para fins de cálculo, neste trabalho utilizaremos a média dos quatro quadrantes. Sendo assim, os cálculos subsequentes para os SGFV nos três cenários terão como base uma área onde a irradiação média diária seja de 3235 Wh/m².dia, ou 3,235 kWh/m².dia.

4.2.2 Inversor e módulos

Para fins de padronização, este trabalho adotou um único modelo de módulo fotovoltaico para os cálculos e estimativas dos três cenários propostos. O modelo de

módulo adotado foi o TS560S8B, da fabricante TSUN Power. O critério de escolha adotado foi um modelo de módulo composto de silício monocristalino, e com rendimento acima de 20%. Além disso, o módulo em questão está em conformidade com as exigências do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). O Quadro 9 mostra as características deste modelo.

Quadro 9 - Características do módulo TS560S8B.

Tipo de célula	Silício monocristalino
Dimensões (Largura x Comprimento)	2,278 x 1,134 metros
Potência nominal máxima	560 W
Tensão de operação	42,3 V
Tensão de circuito aberto	50,1 V
Corrente de operação	13,25 A
Eficiência	21,7%

Fonte: adaptado de

<https://drive.google.com/file/d/1rYfGp5ZOV0Ldqc9nkrIONO8laDxbjdbd/view> (2024)

Quanto ao inversor de frequência, devido a diferença de potência dos sistemas para cada um dos cenários propostos, serão adotados 3 modelos da fabricante Growatt. Este fabricante foi adotado devido a todos os modelos escolhidos terem eficiência máxima de 98,8% e garantia de 10 anos, sendo a garantia de suma importância pois nos projetos dos cenários está prevista a troca do inversor após 10 anos. Atender aos critérios de qualidade do INMETRO também foi um fator levado em consideração para adotar os modelos de inversor. O Quadro 10 mostra as características dos modelos adotados.

Quadro 10 - Características dos inversores adotados.

Modelo	MID 20KTL3-X	MID 36KTL3-X	MAX100KTL3-X LV
Faixa de tensão por MPPT	200-1000 V	180-1000 V	180-1000 V
Eficiência máxima	98,75%	98,8%	98,8%
Número de MPPTs	2	4	10
Número de strings por MPPT	2	2	2
Máxima corrente de entrada por MPPT	27 A	27 A	30 A
Potência nominal de saída	20 kW	36 kW	100 kW
Tipo de conexão da rede CA	3F + N + PE	3F + N + PE	3F + N + PE

Fonte: adaptado de <https://br.growatt.com/products#residential-pv-inverter> (2024)

4.2.3 Valores do módulo e inversores

Para que os custos do SGFV possam ser estimados para os três cenários, é preciso obter os valores atuais com que os equipamentos adotados estão disponíveis no mercado. Nas sessões posteriores, foi detalhado o cálculo da potência necessária para o SGFV de cada um dos cenários. Estes cálculos justificarão os valores dos SGFVs de 20,8, 36,28, e 98,42 kWp de potência, para os cenários um, dois e três, respectivamente.

Atualmente, diversas empresas comercializam módulos, inversores, string box, estruturas de fixação, cabos e conectores em um pacote fechado, denominado kit solar. Neste trabalho, utilizaremos como referência os kits solares comercializados pela empresa Buyers Solar, nas potências de 20,16 kWp e 36,96 kWp, que se aproximam o suficiente dos valores calculados. O valor destes kits em maio de 2024 eram de R\$35.448,44 e R\$58.642,5, respectivamente.

Para o SGFV do cenário três, por não haver kit solar da potência necessária, foi preciso buscar o valor separado dos itens, bem como o inversor solar modelo MAX100KTL3-X2 LV, encontrado no portal da empresa Sollares por R\$ 50675,63, conforme indicado na Figura 12.

Figura 12 - Preço do inversor modelo MAX100KTL3-X2 LV da Growatt.



**INVERSOR GROWATT 100KW
380V TRIFASICO**

O Inversor Growatt Trifásico MAX é altamente tecnológico, durável e de confiabilidade elevada. Garantia de boa geração de energia pelo sistema ongrid conectado a rede elétrica. Possui 12 anos de garantia. A Sollares Energia Solar é representante oficial Growatt para todo Brasil

R\$ 50.675,63
Pronta Entrega. Envio Imediato

Meios de Pagamento

PIX VISA

Fonte: adaptado de: <https://sollares.com.br/37-inversor-growatt> (2024)

O quadro 11 mostra os valores considerados para o kit solar do cenário 3.

Quadro 11 - Valores estimados para o SGFV no cenário 3.

Item	Valor unitário	Quantidade	Valor total
Módulos Fotovoltaicos	R\$ 596.00	176	R\$ 104,896.00
Inversor Solar	R\$ 50,675.00	1	R\$ 50,675.00
StringBox Clamper 2E/2S	R\$ 648.00	8	R\$ 5,184.00
Estrutura de Fixação para 4 módulos	R\$ 340.00	44	R\$ 14,960.00
Cabo Solar Flexível 6MM 1,8KV Preto (100m)	R\$ 630.00	6	R\$ 3,780.00
Cabo Solar Flexível 6MM 1,8KV Vermelho (100m)	R\$ 630.00	6	R\$ 3,780.00
Kit de Conector MC4	R\$ 8.49	352	R\$ 2,988.48
Valor final			R\$ 186,263.48

Fonte: Buyers Solar e Sollares (2024)

Por fim, o Quadro 12 resume as estimativas de valor que serão utilizadas para o estudo de viabilidade econômica dos três cenários.

Quadro 12 - Resumo dos valores para os equipamentos necessários nos três cenários.

Cenário	Valor dos equipamentos
1	R\$ 35,448.44
2	R\$ 58,642.50
3	R\$ 186,263.48

Fonte: Autoria própria (2024)

4.2.4 Custos de implantação do SGFV

De acordo com uma pesquisa realizada com mais de cinco mil empresas integradoras, Greener (2024) analisa a evolução do preço de sistemas de geração fotovoltaicos, considerando o custo por Wp instalado para um sistema de 4kWp e outro de 50kWp. Estes valores ainda são decompostos entre o custo do kit fotovoltaico (módulos, inversores, sistema de montagem, sistema de cabeamento e sistema de proteção) e do serviço de integração. A Tabela 3 mostra a evolução destes valores ao longo dos últimos anos.

Tabela 3 - Custo por Wp para SGFV de 4kWp e 50kWp.

Período	Sistema de 4kWp			Sistema de 50kWp		
	Integração (R\$/Wp)	Kit (R\$/Wp)	Total (R\$/Wp)	Integração (R\$/Wp)	Kit (R\$/Wp)	Total (R\$/Wp)
jun/16	3,65	5,12	8,77	2,75	4,25	7,00
jan/17	3,58	4,16	7,74	3,13	2,93	6,06
jun/17	3,33	3,19	6,52	2,33	2,47	4,80
jan/18	2,21	3,62	5,83	1,79	2,60	4,39
jun/18	2,27	3,49	5,76	1,57	2,84	4,41
jan/19	2,06	3,17	5,23	1,56	2,49	4,05
jun/19	1,89	3,11	5,00	1,19	2,47	3,66
jan/20	1,96	2,88	4,84	1,38	2,24	3,62
jun/20	1,65	3,12	4,76	1,21	2,49	3,70
jan/21	1,66	3,30	4,96	1,16	2,72	3,88
jun/21	1,66	3,22	4,88	1,23	2,66	3,89
jan/22	1,63	3,53	5,16	1,02	3,08	4,10
jun/22	1,67	3,21	4,88	1,04	2,84	3,88
jan/23	1,55	2,84	4,39	1,19	2,54	3,73
jun/23	1,40	2,28	3,68	0,88	1,96	2,84
jan/24	1,15	2,02	3,17	0,77	1,68	2,45

Fonte: adaptado de Greener (2024)

Nota-se que, com o passar dos anos, o custo médio por Wp instalado diminuiu consideravelmente. Greener ainda analisa os custos de instalação de sistemas de outros portes. A Tabela 4 contém os valores para sistemas de outros portes.

Tabela 4 - Custo por Wp para SGFV de 12kWp, 30 kWp e 75 kWp.

Período	Sistema de 12 kWp			Sistema de 30 kWp			Sistema de 75 kWp		
	Integração (R\$/Wp)	Kit (R\$/Wp)	Total (R\$/Wp)	Integração (R\$/Wp)	Kit (R\$/Wp)	Total (R\$/Wp)	Integração (R\$/Wp)	Kit (R\$/Wp)	Total (R\$/Wp)
jan/22	1,03	3,49	4,52	1,10	3,21	4,31	0,82	3,27	4,09
jun/22	1,20	2,96	4,16	1,13	2,80	3,93	1,22	2,78	4,00
jan/23	0,87	2,80	3,67	0,78	2,58	3,36	1,35	2,49	3,84
jun/23	0,87	2,15	3,02	0,80	2,01	2,81	1,21	1,82	3,03
jan/24	0,71	1,83	2,54	0,84	1,58	2,42	1,09	1,61	2,70

Fonte: adaptado de Greener (2024)

Para os sistemas de 12kWp, 30 kWp e 75 kWp, nota-se também a redução gradual do valor por Wp ao longo dos últimos anos. Os valores totais por Wp mostrados em janeiro de 2024 na Tabela 4 serão utilizados como referência para as estimativas de custo dos sistemas para os três cenários. Para o cenário 1, a

referência foi R\$2,54 por Wp, para os cenários 2 e 3, os valores de referência foram R\$2,42 e R\$2,70 por Wp, respectivamente.

4.2.5 Custos de constituição da cooperativa

Para se fundar e formalizar uma cooperativa, a Organização das Cooperativas Brasileiras (OCB) determina que é necessário tomar ações junto a receita federal, junta comercial, e junto a própria OCB (Lima, 2023). Para realizar tais ações, é necessário dispor de um advogado e um contador. Este trabalho considerou considerar que essa mão de obra foi oferecida de forma gratuita, por exemplo por dois membros da cooperativa. A Tabela 5 apresenta o resumo dos custos estimados que serão utilizados neste trabalho.

Tabela 5 - Custos para constituição da cooperativa.

Etapa	Custos Estimados
Abertura do CNPJ	R\$ 3.000,00
Taxa de Adesão da OCB	R\$ 1.000,00
Contribuição Anual à OCB	R\$ 1.000,00 por ano

Fonte: adaptado de *Cooperativas de energia: guia de constituição de cooperativas de geração distribuída fotovoltaica* (Lima, 2023)

4.2.6 Custos de manutenção, inflação e variação na tarifa de energia

Segundo Lima (2023), pode-se estimar o custo anual de manutenção de um sistema de geração fotovoltaico como sendo 0,5% do valor total dos equipamentos deste sistema. Assim, este trabalho irá considerar este mesmo valor para estimativa dos custos de manutenção dos sistemas nos três cenários.

Além disso, para cálculo do payback de cada sistema, é necessário levar em conta que os valores de manutenção e preço do inversor de frequência para troca no décimo e vigésimo anos, sofrerão alterações de acordo com a variação da inflação no Brasil. Assim, o valor de inflação considerado para os cálculos neste trabalho foi

de 6,58% ano, o que equivale a média dos valores de inflação entre os anos de 1999 e 2023 (Banco Central do Brasil, 2024).

Quanto a variação do custo da energia elétrica, este trabalho considerou a variação média dos reajustes feitos pela COPEL, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 - Reajustes feitos pela COPEL na tarifa de energia.

Resolução	Vigência	Motivo	Reajuste médio
3209/2023	24/06/2023	Reajuste tarifário anual	10,50%
3049/2022	24/06/2022	Reajuste tarifário anual	4,90%
2886/2021	24/06/2021	Revisão Tarifária Periódica	9,89%
2704/2020	24/06/2020	Reajuste Tarifário Anual	0,41%
2559/2019	24/06/2019	Reajuste Tarifário Anual	3,41%
2402/2018	24/06/2018	Reajuste Tarifário Anual	15,99%
2255/2017	24/06/2017	Reajuste Tarifário Anual	5,85%
2214/2017	01/05/2017	Reversão do EER Angra III	-1,17%
2096/2016	24/06/2016	Revisão Tarifária Periódica	-12,87%
1897/2015	24/06/2015	Reajuste Tarifário Anual	15,32%
1858/2015	02/03/2015	Revisão Tarifária Extraordinária	36,79%
1763/2014	24/06/2014	Reajuste Tarifário Anual	24,86%
Média (2014 a 2023):			9,49%

Fonte: adaptado de <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/> (2024)

A Tabela 6 apresenta o número da resolução, ano, motivo e o reajuste médio aprovado. Calculando o valor médio, obtêm-se que a média anual de reajustes entre 2014 e 2023 foi de 9,49% ao ano. Este foi, portanto, o percentual utilizado neste trabalho para cálculo dos valores gerados em energia e gastos com o custo de disponibilidade pago pelos cooperados a COPEL.

4.2.7 Outras considerações

Uma vez que este trabalho não irá analisar a implantação das usinas solares em locais específicos de Curitiba, as seguintes premissas serão assumidas para as grandezas solares durante o processo de dimensionamento do SGFV para os 3 cenários:

1. Partindo do pressuposto que o local para instalação do SGFV foi a UC

com melhores condições de geração, é assumido que o desvio azimutal dos módulos solares é igual a zero. Isto pode se traduzir para um cenário onde um dos cooperados possua um terreno ou laje com a área necessária e onde seja possível orientar os módulos de maneira a acompanhar o movimento do sol.

2. A inclinação dos módulos do SGFV foi de 25°, para atingir o máximo aproveitamento possível tendo em vista que Curitiba se situa numa latitude de aproximadamente 25°.

3. A tarifa utilizada para cálculo das faturas de energia foi a praticada pela COPEL, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - Tarifas praticadas pela COPEL para consumidores do grupo B1.

Categoria	Tarifa com impostos (R\$/kWh)
Baixa renda – Entre 31 e 100 kWh	0,40518
Baixa renda – Entre 101 e 220 kWh	0,60778
Baixa renda – Superior a 220 kWh	0,67501
Residencial	0,80837

Fonte: adaptado de <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/> (2023)

4.3 Dimensionamento do SGFV

As próximas sessões apresentam os cálculos de dimensionamento do SGFV para os três cenários propostos, tendo como base a demanda levantada para cada um deles. Por fim, apresentando um resumo dos dimensionamentos feitos, com os resultados para cada um dos cenários.

4.3.1 Cenário 1

No cenário 1, o consumo médio levantado, excluindo o custo de disponibilidade, foi de 1615 kWh por mês. Assim, este é o ponto de partida para o cálculo da potência instalada, em kWp, do SGFV. O cálculo se dá através da equação abaixo.

$$P = \frac{DM}{Irr (méd) \times N \times R \text{ sist}} \quad (1)$$

Onde:

DM: Demanda mensal (kWh);

Irr (méd): Irradiação média diária (kWh/m².dia);

N: Número de dias;

R sist: Rendimento do sistema;

Utilizando os valores de irradiação para a cidade de Curitiba, considerando um rendimento conservador de 80%, e o número de dias igual a 30, temos que a potência deve ser igual a 20,8 kWp.

Assim, determina-se a potência total do SGFV. Com base neste valor, pode-se calcular o número necessário de painéis para atingir a potência instalada desejada. Para isso, é importante definir o modelo de módulo fotovoltaico e consultar as informações do fabricante sobre a potência de saída do mesmo. Neste trabalho, o modelo escolhido é o TS560S8B, da fabricante TSUN Power. Este módulo possui potência de saída de 560W. Assim, pode-se calcular o número de módulos necessários dividindo a potência do sistema pela potência de cada módulo.

$$N = \frac{P \text{ sist}}{P \text{ mod}} \quad (2)$$

Onde:

N: Número de módulos fotovoltaicos;

P sist: Potência calculada do sistema (Wp)

P mod: Potência por módulo (Wp)

Com base neste resultado, define-se que serão necessários 38 módulos solares do modelo adotado. Considerando o kit solar que utilizado como referência para o cenário 1, foi necessário incluir mais dois módulos para atingir a potência desejada.

O próximo passo no dimensionamento é estimar a área necessária para instalação dos painéis, por meio da seguinte equação:

$$A = \frac{P_{sist}}{E_{f\ sist}} \quad (3)$$

Onde:

A: Área necessária (m²);

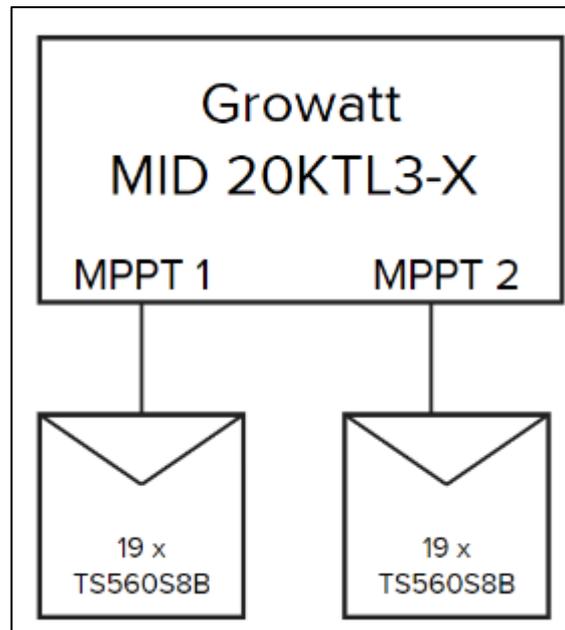
P sist: Potência calculada do sistema (kWp);

P mod: Eficiência do sistema.

De acordo com o manual do fabricante, a eficiência dos módulos fotovoltaicos adotados é de 21,7 %. Assim, foi possível calcular que serão necessários 95,8 m² de área.

Por fim, para conectar todos os módulos, foi adotado o inversor da fabricante Growatt, modelo MID 20KTL3-X. Os 38 módulos estão conectados em duas *strings* com 19 módulos em série cada, ligadas em cada uma das entradas MPPT do inversor, como representado na Figura 15.

Figura 13 - Arranjo dos módulos fotovoltaicos para o cenário 1.



Fonte: Autoria própria (2024)

De acordo com as informações do fabricante dos módulos fotovoltaicos, e o arranjo definido na Figura 15 a tensão de circuito aberto por módulo é de 50,1 V. Para uma string com 19 módulos ligados em série, a tensão somada é de 951,9 V, e a corrente de curto-circuito igual a 13,98 A. Ambos os valores ficam dentro da faixa de operação do inversor adotado, que opera com tensão entre 180 e 1000 V e suporta uma corrente máxima de 27 A por entrada MPPT. Por fim, a potência final do SGFV para o cenário 1 é de 21,28 kWp, correspondente a 38 módulos de 560 Wp do arranjo. Este é o valor utilizado como ponto de partida para calcular a geração e economia de energia neste cenário.

4.3.2 Cenário 2

No cenário 2, o consumo médio levantado, excluindo o custo de disponibilidade, foi de 2817,5 kWh por mês. Assim, este foi o ponto de partida para o cálculo da potência instalada, em kWp, do SGFV. O cálculo se dá, de maneira análoga ao cenário anterior, através da equação (1), utilizada para o cenário 1.

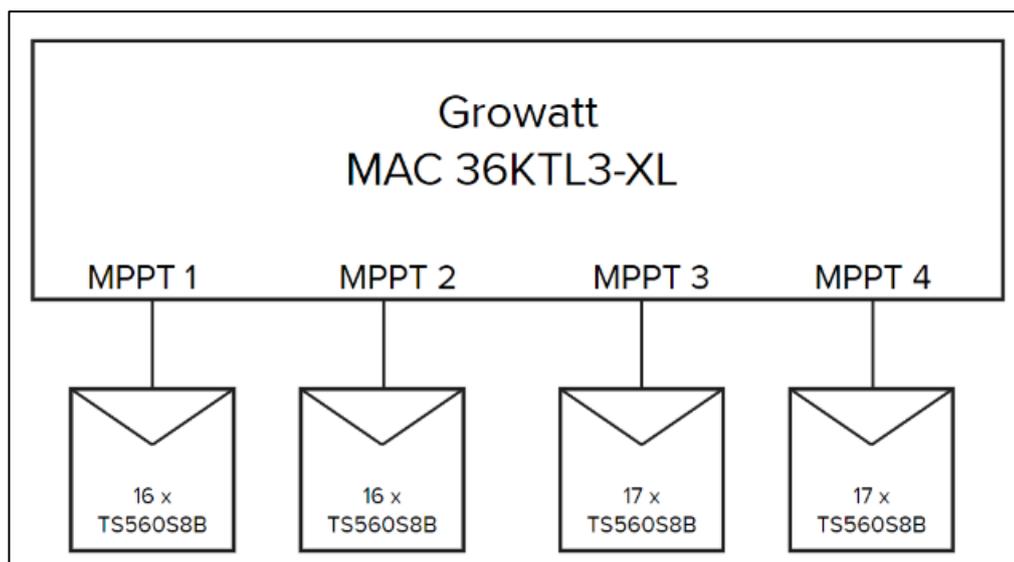
Assim, determina-se a potência total do SGFV, que é 36,28 kWp. Com base neste valor, pode-se calcular o número necessário de painéis para atingir a potência instalada desejada. Para isso, é importante definir o modelo de módulo fotovoltaico e consultar as informações do fabricante sobre a potência de saída do mesmo. Neste trabalho, o modelo escolhido é o TS560S8B, da fabricante TSUN Power. Este módulo possui potência de saída de 560W. Assim, pode-se calcular o número de módulos necessários dividindo a potência do sistema pela potência de cada módulo, utilizando a equação (2).

Com base neste resultado, define-se que serão necessários 65 módulos solares do modelo adotado.

O próximo passo no dimensionamento é estimar a área necessária para instalação dos painéis, por meio da equação (3), também citada anteriormente. Desta forma, foi possível calcular que a área necessária para instalação do SGFV é de 167,18 m².

Por fim, para conectar todos os módulos, foi adotado o inversor da fabricante Growatt, modelo MID 36KTL3-X. Considerando o kit solar apresentado previamente, os 66 módulos estão conectados duas *strings* com 16 módulos em série e outras duas *strings* com 17 módulos ligados em série cada. O modelo de inversor escolhido possui 4 entradas MPPT, e permite a ligação das 4 *strings*, conforme o arranjo mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Arranjo dos módulos fotovoltaicos para o cenário 2.



Fonte: Autoria própria (2024)

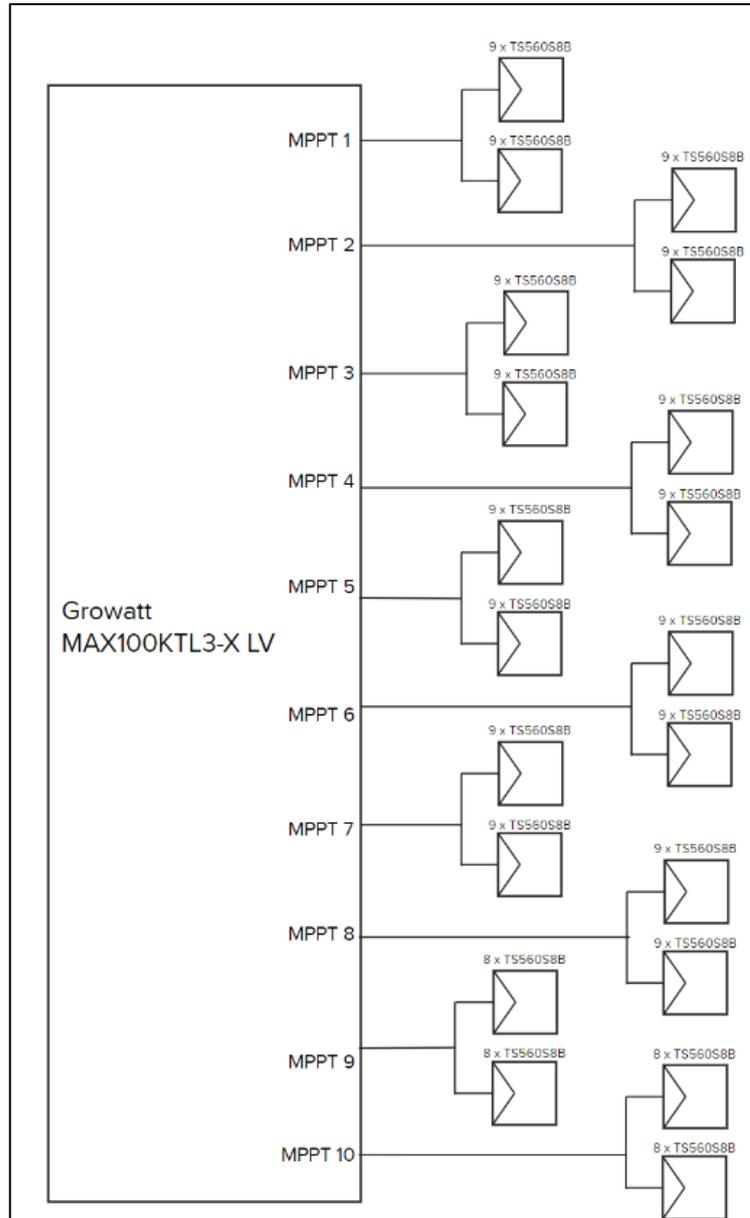
De acordo com as informações do fabricante dos módulos fotovoltaicos, e o arranjo definido na Figura 16 a tensão de circuito aberto por módulo é de 50,1 V. Para uma string com dezessete módulos ligados em série, a tensão somada é de 851,7 V. A corrente de curto-circuito é 13,98 A para todas as entradas MPPT. Ambos os valores ficam dentro da faixa de operação do inversor adotado, que opera com tensão entre 180 e 1000 V e suporta uma corrente máxima de 27 A por entrada MPPT. Por fim, a potência do SGFV para o cenário 2, utilizando o kit solar com 66 módulos de 560 Wp cada ficou em 36,96 kWp.

4.3.3 Cenário 3

No cenário 3, o consumo médio levantado, excluindo o custo de disponibilidade, foi de 7642 kWh por mês. Utilizando as equações (1), (2) e (3) foi possível calcular uma potência do SGFV de 98,42 kWp, a necessidade de utilizar 176 módulos fotovoltaicos, e determinou-se que a área necessária para implantação do SGFV é de 453,5 m².

Por fim, para conectar todos os módulos, foi adotado o inversor da fabricante Growatt, modelo MAX100KTL3-X LV. Os 176 módulos estão conectados em dezesseis *strings*, sendo quatro com 10 módulos em série, e as demais com 9 módulos em série cada. O modelo de inversor escolhido possui 10 entradas MPPT, e permite a ligação de duas strings associadas em paralelo em cada entrada. Assim, os módulos serão ligados conforme o arranjo mostrado na Figura 15.

Figura 15 - Arranjo dos módulos fotovoltaicos para o cenário 3.



Fonte: Autoria própria (2024)

De acordo com as informações do fabricante dos módulos fotovoltaicos, e o arranjo definido na Figura 17 a tensão de circuito aberto por módulo é de 50,1 V. Para uma string com nove módulos ligados em série, a tensão somada é de 450,9 V. A corrente de curto-circuito é de 27,96 A para todas as entradas MPPT. Ambos os valores ficam dentro da faixa de operação do inversor adotado, que opera com tensão entre 180 e 1000 V e suporta uma corrente máxima de 45 A por entrada MPPT. A potência final do SGFV para o cenário 3 após o dimensionamento e organização no arranjo da Figura 17 ficou em 98,56 kWp, correspondente a 176 módulos de 560 Wp do arranjo.

4.3.4 Resumo dos dimensionamentos

Para fins de comparação, os reais dos SGFVs para os três cenários propostos estão condensados no Quadro 13.

Quadro 13 - Resumo dos sistemas de geração para os três cenários.

Cenário	1	2	3
Demanda mensal (kWh/mês)	1615	2817,5	7642
Potência do sistema (kWp)	21,28	36,96	98,56
Número de módulos necessários	38	66	176
Área necessária (m ²)	95,8	167,18	453,5

Fonte: Autoria própria (2024)

4.4 Análise de viabilidade econômica para os 3 cenários

Para analisar a viabilidade econômica da criação de uma cooperativa de energia nos três cenários propostos, serão estimados custos e receitas totais, sendo assim possível avaliar em qual ano os cooperados irão alcançar o retorno do investimento realizado. As sessões seguintes apresentarão em detalhes os valores estimados, bem como os critérios utilizados para chegar aos mesmos.

4.4.1 Cenário 1

As próximas sessões trazem os cálculos para análise de viabilidade econômica no cenário 1. As etapas da análise foram divididas em: custos, receita, e retorno do investimento (*payback*).

4.4.1.1 Custos

Para estimar os custos de implantação do SGFV, três aspectos serão analisados separadamente: custo dos equipamentos, custos de administração da cooperativa e manutenção do sistema, e por fim os custos de disponibilidade da rede, que serão pagos pelos membros da cooperativa em suas respectivas contas de energia.

Sobre os custos dos equipamentos, estes serão compostos pelo kit solar adquirido para a instalação do SGFV, os custos de integração, calculados conforme o custo médio trazido pela Tabela 4, apresentada nas sessões anteriores do trabalho. Para sistemas de 12 kWp, este valor é de R\$0,71 por Wp. Além disso, foi considerada a troca do inversor de frequência ao décimo e vigésimo anos. O valor do inversor de frequência foi ajustado de acordo com o valor médio da inflação, 6,58%, também definido anteriormente. A Tabela 8 apresenta estes custos.

Tabela 8 - Custos dos equipamentos e integração no cenário 1.

Ano	Gasto	Valor
1	Aquisição dos equipamentos	R\$ 35448,44
	Custos de integração	R\$ 14200,00
2 a 9	-	
10	Primeira troca do inversor de frequência	R\$ 16148,15
11 a 20	-	
20	Segunda troca do inversor de frequência	R\$ 30540,77
21 a 25	-	

Fonte: Autoria própria (2024)

Quanto aos custos de administração e manutenção da cooperativa estimou-se um valor inicial de R\$4000,00 para fundação da cooperativa, bem como um pagamento anual de R\$1000,00 para a OCB como custo de administração. Para a manutenção do SGFV, foi considerado um valor de 0,5% do valor dos equipamentos. Ambos os valores corrigidos anualmente de acordo com a inflação. A Tabela 9 mostra estes valores ao longo dos anos.

Tabela 9 - Custos de administração e manutenção da cooperativa no cenário 1.

Ano	Manutenção	Administração	Total
1	R\$ 1772,42	R\$ 4,000.00	R\$ 5772,42
2	R\$ 1889,05	R\$ 1,000.00	R\$ 2889,05
3	R\$ 2013,35	R\$ 1,065.80	R\$ 3013,35
4	R\$ 2145,82	R\$ 1,135.93	R\$ 3145,82
5	R\$ 2287,02	R\$ 1,210.67	R\$ 3287,02
6	R\$ 2437,51	R\$ 1,290.34	R\$ 3437,51
7	R\$ 2597,89	R\$ 1,375.24	R\$ 3597,89
8	R\$ 2768,84	R\$ 1,465.73	R\$ 3768,84
9	R\$ 2951,02	R\$ 1,562.18	R\$ 3951,02
10	R\$ 3145,20	R\$ 1,664.97	R\$ 4145,20
11	R\$ 3352,16	R\$ 1,774.52	R\$ 4352,16
12	R\$ 3572,73	R\$ 1,891.29	R\$ 4572,73
13	R\$ 3807,81	R\$ 2,015.73	R\$ 4807,81
14	R\$ 4058,37	R\$ 2,148.37	R\$ 5058,37
15	R\$ 4325,41	R\$ 2,289.73	R\$ 5325,41
16	R\$ 4610,02	R\$ 2,440.39	R\$ 5610,02
17	R\$ 4913,36	R\$ 2,600.97	R\$ 5913,36
18	R\$ 5236,66	R\$ 2,772.12	R\$ 6236,66
19	R\$ 5581,23	R\$ 2,954.52	R\$ 6581,23
20	R\$ 5948,48	R\$ 3,148.93	R\$ 6948,48
21	R\$ 6339,89	R\$ 3,356.13	R\$ 7339,89
22	R\$ 6757,05	R\$ 3,576.96	R\$ 7757,05
23	R\$ 7201,66	R\$ 3,812.33	R\$ 8201,66
24	R\$ 7675,53	R\$ 4,063.18	R\$ 8675,53
25	R\$ 8180,58	R\$ 4,330.53	R\$ 9180,58

Fonte: Autoria própria (2024)

Por fim, a Tabela 10 apresenta os gastos dos cooperados com o valor referente ao custo de disponibilidade da rede.

Tabela 10 - Custo de disponibilidade da rede no cenário 1.

Ano	kWh/ano	Tarifa baixa renda (entre 31 e 100kWh)	Tarifa baixa renda (entre 101 e 220kWh)	Tarifa baixa renda (superior a 220kWh)	Valor total
1	9600	R\$ 0,41	R\$ 0,61	R\$ 0,68	R\$ 5226,34
2	9600	R\$ 0,44	R\$ 0,67	R\$ 0,74	R\$ 5722,32
3	9600	R\$ 0,49	R\$ 0,73	R\$ 0,81	R\$ 6265,37
4	9600	R\$ 0,53	R\$ 0,80	R\$ 0,89	R\$ 6859,95
5	9600	R\$ 0,58	R\$ 0,87	R\$ 0,97	R\$ 7510,96
6	9600	R\$ 0,64	R\$ 0,96	R\$ 1,06	R\$ 8223,75
7	9600	R\$ 0,70	R\$ 1,05	R\$ 1,16	R\$ 9004,19
8	9600	R\$ 0,76	R\$ 1,15	R\$ 1,27	R\$ 9858,69
9	9600	R\$ 0,84	R\$ 1,26	R\$ 1,39	R\$ 10794,27
10	9600	R\$ 0,92	R\$ 1,37	R\$ 1,53	R\$ 11818,65
11	9600	R\$ 1,00	R\$ 1,50	R\$ 1,67	R\$ 12940,24
12	9600	R\$ 1,10	R\$ 1,65	R\$ 1,83	R\$ 14168,27
13	9600	R\$ 1,20	R\$ 1,80	R\$ 2,00	R\$ 15512,84
14	9600	R\$ 1,32	R\$ 1,98	R\$ 2,19	R\$ 16985,01
15	9600	R\$ 1,44	R\$ 2,16	R\$ 2,40	R\$ 18596,89
16	9600	R\$ 1,58	R\$ 2,37	R\$ 2,63	R\$ 20361,73
17	9600	R\$ 1,73	R\$ 2,59	R\$ 2,88	R\$ 22294,06
18	9600	R\$ 1,89	R\$ 2,84	R\$ 3,15	R\$ 24409,76
19	9600	R\$ 2,07	R\$ 3,11	R\$ 3,45	R\$ 26726,25
20	9600	R\$ 2,27	R\$ 3,40	R\$ 3,78	R\$ 29262,57
21	9600	R\$ 2,48	R\$ 3,73	R\$ 4,14	R\$ 32039,59
22	9600	R\$ 2,72	R\$ 4,08	R\$ 4,53	R\$ 35080,15
23	9600	R\$ 2,98	R\$ 4,47	R\$ 4,96	R\$ 38409,25
24	9600	R\$ 3,26	R\$ 4,89	R\$ 5,43	R\$ 42054,29
25	9600	R\$ 3,57	R\$ 5,35	R\$ 5,95	R\$ 46045,24

Fonte: Autoria própria (2024)

A Tabela 10 abrange uma particularidade do cenário 1, que é o fato de os cooperados terem acesso a tarifa de baixa renda. Sendo assim, o valor final é calculado de acordo com a tarifa específica para cada perfil de cooperado. O valor é composto por 10 cooperados do perfil Casal, que precisarão arcar com 3600 kWh ao ano, pagando a tarifa da terceira coluna da Tabela 10, somado a 7 cooperados do perfil Família Pequena, que precisarão arcar com 4200 kWh ao ano, pagando a tarifa da quarta coluna da Tabela 10, por fim somados a 3 cooperados do perfil Família Grande, que precisarão arcar com 1800 kWh ao ano, pagando a tarifa da quinta coluna da Tabela 10. A Tabela 10 também inclui o aumento da tarifa de energia numa taxa de 9,49% ao ano.

4.4.1.2 Receita

A Tabela 11 apresenta a estimativa de receita gerada pelo SGFV do cenário 1 ao longo dos anos.

Tabela 11 - Receita gerada no cenário 1.

Ano	Energia gerada (kWh/ano)		Tarifa		Valor economizado
1	25130,25	R\$	0,68	R\$	16963,17
2	24627,65	R\$	0,74	R\$	18201,52
3	24492,19	R\$	0,81	R\$	19819,23
4	24357,49	R\$	0,89	R\$	21580,73
5	24223,52	R\$	0,97	R\$	23498,78
6	24090,29	R\$	1,06	R\$	25587,30
7	23957,79	R\$	1,16	R\$	27861,45
8	23826,03	R\$	1,27	R\$	30337,72
9	23694,98	R\$	1,39	R\$	33034,08
10	23564,66	R\$	1,53	R\$	35970,09
11	23435,05	R\$	1,67	R\$	39167,04
12	23306,16	R\$	1,83	R\$	42648,13
13	23177,98	R\$	2,00	R\$	46438,61
14	23050,50	R\$	2,19	R\$	50565,98
15	22923,72	R\$	2,40	R\$	55060,19
16	22797,64	R\$	2,63	R\$	59953,83
17	22672,25	R\$	2,88	R\$	65282,41
18	22547,56	R\$	3,15	R\$	71084,59
19	22423,54	R\$	3,45	R\$	77402,45
20	22300,22	R\$	3,78	R\$	84281,82
21	22177,56	R\$	4,14	R\$	91772,63
22	22055,59	R\$	4,53	R\$	99929,20
23	21934,28	R\$	4,96	R\$	108810,71
24	21813,64	R\$	5,43	R\$	118481,60
25	21693,67	R\$	5,95	R\$	129012,01

Fonte: Autoria própria (2024)

A geração de energia do SGFV foi calculada pela multiplicação do valor da potência instalada total pela irradiação solar no local. Desta forma, chega-se a um valor de 68,85 kWh gerados por dia. Multiplicando este valor por 365 dias do ano, obtêm-se o valor de 25130,25 kWh gerados no primeiro ano. Nos anos seguintes, é possível notar uma queda na produtividade do SGFV devido ao desgaste dos módulos fotovoltaicos, considerando uma queda de 2% no primeiro ano, e de 0,55%

nos anos seguintes. Por fim, o valor da tarifa utilizado também foi corrigido, seguindo a mesma variação de 9,49% ao ano.

4.4.1.3 Retorno do investimento (payback)

Para cálculo do retorno do investimento, foi utilizado o método do fluxo de caixa. Onde o valor da receita gerada é subtraído dos valores referentes aos gastos, e o saldo final compõe o ponto de partida para o ano seguinte. A Tabela 12 mostra o fluxo de caixa para o cenário 1.

Tabela 12 - Cálculo do retorno do investimento no cenário 1.

Ano	Despesas	Receita	Fluxo de caixa acumulado	
1	R\$ 60,647.20	R\$ 16,963.17	-R\$	43,684.03
2	R\$ 8,611.37	R\$ 18,201.52	-R\$	34,093.89
3	R\$ 9,344.52	R\$ 19,819.23	-R\$	23,619.17
4	R\$ 10,141.71	R\$ 21,580.73	-R\$	12,180.16
5	R\$ 11,008.66	R\$ 23,498.78	R\$	309.96
6	R\$ 11,951.60	R\$ 25,587.30	R\$	13,945.67
7	R\$ 12,977.32	R\$ 27,861.45	R\$	28,829.80
8	R\$ 14,093.25	R\$ 30,337.72	R\$	45,074.27
9	R\$ 15,307.48	R\$ 33,034.08	R\$	62,800.88
10	R\$ 32,776.97	R\$ 35,970.09	R\$	65,993.99
11	R\$ 18,066.92	R\$ 39,167.04	R\$	87,094.11
12	R\$ 19,632.28	R\$ 42,648.13	R\$	110,109.96
13	R\$ 21,336.39	R\$ 46,438.61	R\$	135,212.18
14	R\$ 23,191.74	R\$ 50,565.98	R\$	162,586.42
15	R\$ 25,212.02	R\$ 55,060.19	R\$	192,434.59
16	R\$ 27,412.14	R\$ 59,953.83	R\$	224,976.28
17	R\$ 29,808.39	R\$ 65,282.41	R\$	260,450.30
18	R\$ 32,418.54	R\$ 71,084.59	R\$	299,116.35
19	R\$ 35,262.00	R\$ 77,402.45	R\$	341,256.79
20	R\$ 68,900.75	R\$ 84,281.82	R\$	356,637.87
21	R\$ 41,735.60	R\$ 91,772.63	R\$	406,674.89
22	R\$ 45,414.16	R\$ 99,929.20	R\$	461,189.93
23	R\$ 49,423.24	R\$ 108,810.71	R\$	520,577.40
24	R\$ 53,793.00	R\$ 118,481.60	R\$	585,266.00
25	R\$ 58,556.36	R\$ 129,012.01	R\$	655,721.65

Fonte: Autoria própria (2024)

Analisando o fluxo de caixa da Tabela 12, percebe-se que a cooperativa proposta no cenário 1 chega ao retorno do investimento ao final do ano 5, demonstrando a viabilidade no investimento em uma cooperativa de energia neste cenário específico.

4.4.2 Cenário 2

As próximas sessões trazem os cálculos para análise de viabilidade econômica no cenário 2. As etapas da análise foram divididas da mesma forma da análise para o cenário 1.

4.4.2.1 Custos

Assim como no cenário anterior, os custos serão decompostos entre: custo dos equipamentos, custos de administração da cooperativa e manutenção do sistema. Quanto aos equipamentos e integração, a Tabela 13 apresenta os valores levantados para o cenário 2.

Tabela 13 - Custos dos equipamentos e integração no cenário 2.

Ano	Gasto	Valor
1	Aquisição dos equipamentos	R\$ 58642,50
	Custos de integração	R\$ 31046,40
2 a 9	-	
10	Primeira troca do inversor de frequência	R\$ 23067,01
11 a 20	-	
20	Segunda troca do inversor de frequência	R\$ 43326,32
21 a 25	-	

Fonte: Autoria própria (2024)

Na Tabela 13 foi utilizado o valor do kit solar que a ser adquirido para a instalação do SGFV. Os custo de integração adotado seguiu o valor da Tabela 4 para sistemas na faixa 30 kWp, R\$0,84 por Wp. Também foi considerada a troca do

inversor de frequência ao décimo e vigésimo anos. O valor do inversor de frequência foi ajustado de acordo com o valor médio da inflação, 6,58%, também definido anteriormente.

Quanto aos custos de administração e manutenção da cooperativa estimou-se o mesmo valor inicial do cenário 1, também considerando os mesmos índices para correção dos valores com o passar dos anos. A Tabela 14 mostra estes valores ao longo dos anos.

Tabela 14 - Custos de administração e manutenção da cooperativa no cenário 2.

Ano	Manutenção		Administração		Total
1	R\$	2,932.13	R\$	4,000.00	R\$ 6,932.13
2	R\$	3,125.06	R\$	1,000.00	R\$ 4,125.06
3	R\$	3,330.69	R\$	1,065.80	R\$ 4,330.69
4	R\$	3,549.85	R\$	1,135.93	R\$ 4,549.85
5	R\$	3,783.43	R\$	1,210.67	R\$ 4,783.43
6	R\$	4,032.38	R\$	1,290.34	R\$ 5,032.38
7	R\$	4,297.71	R\$	1,375.24	R\$ 5,297.71
8	R\$	4,580.50	R\$	1,465.73	R\$ 5,580.50
9	R\$	4,881.89	R\$	1,562.18	R\$ 5,881.89
10	R\$	5,203.12	R\$	1,664.97	R\$ 6,203.12
11	R\$	5,545.49	R\$	1,774.52	R\$ 6,545.49
12	R\$	5,910.38	R\$	1,891.29	R\$ 6,910.38
13	R\$	6,299.28	R\$	2,015.73	R\$ 7,299.28
14	R\$	6,713.78	R\$	2,148.37	R\$ 7,713.78
15	R\$	7,155.54	R\$	2,289.73	R\$ 8,155.54
16	R\$	7,626.38	R\$	2,440.39	R\$ 8,626.38
17	R\$	8,128.19	R\$	2,600.97	R\$ 9,128.19
18	R\$	8,663.03	R\$	2,772.12	R\$ 9,663.03
19	R\$	9,233.05	R\$	2,954.52	R\$ 10,233.05
20	R\$	9,840.59	R\$	3,148.93	R\$ 10,840.59
21	R\$	10,488.10	R\$	3,356.13	R\$ 11,488.10
22	R\$	11,178.22	R\$	3,576.96	R\$ 12,178.22
23	R\$	11,913.74	R\$	3,812.33	R\$ 12,913.74
24	R\$	12,697.67	R\$	4,063.18	R\$ 13,697.67
25	R\$	13,533.17	R\$	4,330.53	R\$ 14,533.17

Fonte: Autoria própria (2024)

Quanto ao custo de disponibilidade, a Tabela 15 apresenta os valores ao longo dos anos, estimando um aumento na tarifa de energia de 9,49% ao ano.

Tabela 15 - Custo de disponibilidade da rede no cenário 2.

Ano	kWh/ano	Tarifa residencial		Valor	
1	13800	R\$	0,81	R\$	11155,51
2	13800	R\$	0,89	R\$	12214,16
3	13800	R\$	0,97	R\$	13373,29
4	13800	R\$	1,06	R\$	14642,41
5	13800	R\$	1,16	R\$	16031,98
6	13800	R\$	1,27	R\$	17553,41
7	13800	R\$	1,39	R\$	19219,23
8	13800	R\$	1,52	R\$	21043,14
9	13800	R\$	1,67	R\$	23040,13
10	13800	R\$	1,83	R\$	25226,64
11	13800	R\$	2,00	R\$	27620,65
12	13800	R\$	2,19	R\$	30241,85
13	13800	R\$	2,40	R\$	33111,80
14	13800	R\$	2,63	R\$	36254,11
15	13800	R\$	2,88	R\$	39694,62
16	13800	R\$	3,15	R\$	43461,64
17	13800	R\$	3,45	R\$	47586,15
18	13800	R\$	3,78	R\$	52102,08
19	13800	R\$	4,13	R\$	57046,56
20	13800	R\$	4,53	R\$	62460,28
21	13800	R\$	4,96	R\$	68387,76
22	13800	R\$	5,43	R\$	74877,76
23	13800	R\$	5,94	R\$	81983,66
24	13800	R\$	6,50	R\$	89763,91
25	13800	R\$	7,12	R\$	98282,50

Fonte: Autoria própria (2024)

Diferentemente do cenário 1, os cooperados do cenário 2 não se enquadram mais como consumidores de baixa renda. Assim, na Tabela 15 foi utilizado o valor de tarifa residencial comum praticado pela COPEL.

4.4.2.2 Receita

A Tabela 16 apresenta a estimativa de receita gerada pelo SGFV do cenário 2 ao longo dos anos.

Tabela 16 - Receita gerada no cenário 2.

Ano	Energia gerada (kWh/ano)	Tarifa	Valor economizado
1	25130,25	R\$ 0,68	R\$ 16963,17
2	24627,65	R\$ 0,74	R\$ 18201,52
3	24492,19	R\$ 0,81	R\$ 19819,23
4	24357,49	R\$ 0,89	R\$ 21580,73
5	24223,52	R\$ 0,97	R\$ 23498,78
6	24090,29	R\$ 1,06	R\$ 25587,30
7	23957,79	R\$ 1,16	R\$ 27861,45
8	23826,03	R\$ 1,27	R\$ 30337,72
9	23694,98	R\$ 1,39	R\$ 33034,08
10	23564,66	R\$ 1,53	R\$ 35970,09
11	23435,05	R\$ 1,67	R\$ 39167,04
12	23306,16	R\$ 1,83	R\$ 42648,13
13	23177,98	R\$ 2,00	R\$ 46438,61
14	23050,50	R\$ 2,19	R\$ 50565,98
15	22923,72	R\$ 2,40	R\$ 55060,19
16	22797,64	R\$ 2,63	R\$ 59953,83
17	22672,25	R\$ 2,88	R\$ 65282,41
18	22547,56	R\$ 3,15	R\$ 71084,59
19	22423,54	R\$ 3,45	R\$ 77402,45
20	22300,22	R\$ 3,78	R\$ 84281,82
21	22177,56	R\$ 4,14	R\$ 91772,63
22	22055,59	R\$ 4,53	R\$ 99929,20
23	21934,28	R\$ 4,96	R\$ 108810,71
24	21813,64	R\$ 5,43	R\$ 118481,60
25	21693,67	R\$ 5,95	R\$ 129012,01

Fonte: Autoria própria (2024)

Para estimar a receita gerada pelo SGFV do cenário 2, também foi necessário calcular a geração de energia do sistema. O cálculo também foi feito de maneira análoga ao cenário 1, através da multiplicação do valor da potência instalada total em kWp, que é de 36,96 kWp, pelo valor da irradiação solar no local, que foi estipulado como 3,235 kWh/m².dia. Desta forma, chega-se a um valor de 119,56 kWh gerados por dia. Multiplicando este valor por 365 dias do ano, obtêm-se o valor de 43641,4 kWh gerados no primeiro ano. Para os anos seguintes, é possível notar uma queda na produtividade do SGFV devido ao desgaste dos módulos fotovoltaicos. De acordo com o fabricante, deve-se considerar uma queda de 2% no primeiro ano, e de 0,55% nos anos seguintes. Por fim, o valor da tarifa utilizado também foi corrigido, seguindo a mesma variação de 9,49% ao ano.

4.4.2.3 Retorno do investimento (payback)

Quanto ao retorno do investimento, foi utilizado o método do fluxo de caixa, mostrado em detalhes na Tabela 17.

Tabela 17 - Cálculo do retorno do investimento no cenário 2.

Ano	Despesas		Receita		Fluxo de caixa acumulado
1	R\$	107,776.53	R\$	35,278.43	-R\$ 72,498.10
2	R\$	16,339.22	R\$	37,853.83	-R\$ 50,983.49
3	R\$	17,769.78	R\$	41,218.20	-R\$ 27,535.06
4	R\$	19,328.19	R\$	44,881.60	-R\$ 1,981.65
5	R\$	21,026.08	R\$	48,870.59	R\$ 25,862.86
6	R\$	22,876.12	R\$	53,214.11	R\$ 56,200.84
7	R\$	24,892.18	R\$	57,943.68	R\$ 89,252.34
8	R\$	27,089.36	R\$	63,093.60	R\$ 125,256.58
9	R\$	29,484.20	R\$	68,701.23	R\$ 164,473.61
10	R\$	55,161.74	R\$	74,807.27	R\$ 184,119.14
11	R\$	34,940.65	R\$	81,455.99	R\$ 230,634.47
12	R\$	38,043.51	R\$	88,695.64	R\$ 281,286.60
13	R\$	41,426.81	R\$	96,578.73	R\$ 336,438.52
14	R\$	45,116.25	R\$	105,162.46	R\$ 396,484.74
15	R\$	49,139.89	R\$	114,509.10	R\$ 461,853.94
16	R\$	53,528.41	R\$	124,686.44	R\$ 533,011.97
17	R\$	58,315.31	R\$	135,768.33	R\$ 610,464.99
18	R\$	63,537.22	R\$	147,835.16	R\$ 694,762.93
19	R\$	69,234.14	R\$	160,974.46	R\$ 786,503.25
20	R\$	119,076.12	R\$	175,281.55	R\$ 842,708.68
21	R\$	82,231.99	R\$	190,860.23	R\$ 951,336.93
22	R\$	89,632.94	R\$	207,823.52	R\$ 1,069,527.51
23	R\$	97,709.73	R\$	226,294.47	R\$ 1,198,112.25
24	R\$	106,524.75	R\$	246,407.08	R\$ 1,337,994.58
25	R\$	116,146.21	R\$	268,307.26	R\$ 1,490,155.62

Fonte: Autoria própria (2024)

Analisando o fluxo de caixa da Tabela 17, percebe-se que a cooperativa proposta no cenário 2 chega ao retorno do investimento ao final do ano 5, o que também demonstra a viabilidade no investimento em uma cooperativa de energia neste cenário específico.

4.4.3 Cenário 3

As próximas sessões trazem os cálculos para análise de viabilidade econômica no cenário 3. As etapas da análise seguiram os mesmos passos utilizados nos cenários anteriores.

4.4.3.1 Custos

Adotando os mesmos critérios para decomposição dos custos utilizados nos cenários 1 e 2, a Tabela 18 apresenta os custos com equipamentos.

Tabela 18 - Custos dos equipamentos e integração no cenário 3.

Ano	Gasto	Valor
1	Aquisição dos equipamentos	R\$ 186,263.48
	Custos de integração	R\$ 107,430.40
2 a 9	-	
10	Primeira troca do inversor de frequência	R\$ 89,923.91
11 a 20	-	
20	Segunda troca do inversor de frequência	R\$ 170,071.82
21 a 25	-	

Fonte: Autoria própria (2024)

A Tabela 18 apresenta o valor do kit solar que a ser adquirido para a instalação do SGFV, bem como os custos de integração, baseado na Tabela 4, para sistemas na faixa 75 kWp, este valor é de R\$1,09 por Wp. Também foram consideradas a troca do inversor, com a mesma correção de valores dos cenários anteriores.

Os custos de administração e manutenção da cooperativa foram estimados da mesma maneira que nos cenários anteriores. Para a manutenção do SGFV, também foi considerado um valor de 0,5% do valor total dos equipamentos, corrigido anualmente de acordo com a inflação. A Tabela 19 mostra estes valores ao longo dos anos.

Tabela 19 - Custos de administração e manutenção da cooperativa no cenário 3.

Ano	Manutenção	Administração	Total
1	R\$ 9313,17	R\$ 4,000.00	R\$ 13313,17
2	R\$ 9925,98	R\$ 1,000.00	R\$ 10925,98
3	R\$ 10579,11	R\$ 1,065.80	R\$ 11579,11
4	R\$ 11275,22	R\$ 1,135.93	R\$ 12275,22
5	R\$ 12017,13	R\$ 1,210.67	R\$ 13017,13
6	R\$ 12807,85	R\$ 1,290.34	R\$ 13807,85
7	R\$ 13650,61	R\$ 1,375.24	R\$ 14650,61
8	R\$ 14548,82	R\$ 1,465.73	R\$ 15548,82
9	R\$ 15506,13	R\$ 1,562.18	R\$ 16506,13
10	R\$ 16526,43	R\$ 1,664.97	R\$ 17526,43
11	R\$ 17613,87	R\$ 1,774.52	R\$ 18613,87
12	R\$ 18772,87	R\$ 1,891.29	R\$ 19772,87
13	R\$ 20008,12	R\$ 2,015.73	R\$ 21008,12
14	R\$ 21324,66	R\$ 2,148.37	R\$ 22324,66
15	R\$ 22727,82	R\$ 2,289.73	R\$ 23727,82
16	R\$ 24223,31	R\$ 2,440.39	R\$ 25223,31
17	R\$ 25817,20	R\$ 2,600.97	R\$ 26817,20
18	R\$ 27515,97	R\$ 2,772.12	R\$ 28515,97
19	R\$ 29326,52	R\$ 2,954.52	R\$ 30326,52
20	R\$ 31256,21	R\$ 3,148.93	R\$ 32256,21
21	R\$ 33312,87	R\$ 3,356.13	R\$ 34312,87
22	R\$ 35504,86	R\$ 3,576.96	R\$ 36504,86
23	R\$ 37841,08	R\$ 3,812.33	R\$ 38841,08
24	R\$ 40331,02	R\$ 4,063.18	R\$ 41331,02
25	R\$ 42984,80	R\$ 4,330.53	R\$ 43984,80

Fonte: Autoria própria (2024)

Quanto ao custo de disponibilidade, a Tabela 20 apresenta os valores ao longo dos anos, estimando um aumento na tarifa de energia de 9,49% ao ano.

Tabela 20 - Custo de disponibilidade da rede no cenário 3.

Ano	kWh/ano	Tarifa residencial		Valor	
1	18000	R\$	0,81	R\$	14550,66
2	18000	R\$	0,89	R\$	15931,52
3	18000	R\$	0,97	R\$	17443,42
4	18000	R\$	1,06	R\$	19098,80
5	18000	R\$	1,16	R\$	20911,28
6	18000	R\$	1,27	R\$	22895,76
7	18000	R\$	1,39	R\$	25068,56
8	18000	R\$	1,52	R\$	27447,57
9	18000	R\$	1,67	R\$	30052,34
10	18000	R\$	1,83	R\$	32904,31
11	18000	R\$	2,00	R\$	36026,93
12	18000	R\$	2,19	R\$	39445,89
13	18000	R\$	2,40	R\$	43189,30
14	18000	R\$	2,63	R\$	47287,96
15	18000	R\$	2,88	R\$	51775,59
16	18000	R\$	3,15	R\$	56689,10
17	18000	R\$	3,45	R\$	62068,89
18	18000	R\$	3,78	R\$	67959,23
19	18000	R\$	4,13	R\$	74408,56
20	18000	R\$	4,53	R\$	81469,93
21	18000	R\$	4,96	R\$	89201,43
22	18000	R\$	5,43	R\$	97666,64
23	18000	R\$	5,94	R\$	106935,21
24	18000	R\$	6,50	R\$	117083,36
25	18000	R\$	7,12	R\$	128194,57

Fonte: Autoria própria (2024)

Assim como no cenário 2, os cooperados do cenário 3 não se enquadram como consumidores de baixa renda. Portanto, na Tabela 20 foi utilizado o valor de tarifa residencial comum praticado pela COPEL.

4.4.3.2 Receita

A Tabela 21 apresenta a estimativa de receita gerada pelo SGFV do cenário 3 ao longo dos anos.

Tabela 21 - Receita gerada no cenário 3.

Ano	Energia gerada (kWh/ano)	Tarifa		Valor
1	116377,18	R\$	0,81	R\$ 94075,82
2	114049,64	R\$	0,89	R\$ 100943,55
3	113422,37	R\$	0,97	R\$ 109915,21
4	112798,54	R\$	1,06	R\$ 119684,26
5	112178,15	R\$	1,16	R\$ 130321,57
6	111561,17	R\$	1,27	R\$ 141904,29
7	110947,59	R\$	1,39	R\$ 154516,47
8	110337,37	R\$	1,52	R\$ 168249,59
9	109730,52	R\$	1,67	R\$ 183203,29
10	109127,00	R\$	1,83	R\$ 199486,04
11	108526,80	R\$	2,00	R\$ 217215,97
12	107929,90	R\$	2,19	R\$ 236521,70
13	107336,29	R\$	2,40	R\$ 257543,29
14	106745,94	R\$	2,63	R\$ 280433,24
15	106158,84	R\$	2,88	R\$ 305357,59
16	105574,96	R\$	3,15	R\$ 332497,18
17	104994,30	R\$	3,45	R\$ 362048,88
18	104416,83	R\$	3,78	R\$ 394227,08
19	103842,54	R\$	4,13	R\$ 429265,22
20	103271,41	R\$	4,53	R\$ 467417,47
21	102703,41	R\$	4,96	R\$ 508960,62
22	102138,55	R\$	5,43	R\$ 554196,05
23	101576,78	R\$	5,94	R\$ 603451,92
24	101018,11	R\$	6,50	R\$ 657085,55
25	100462,51	R\$	7,12	R\$ 715486,03

Fonte: Autoria própria (2024)

Para estimar a receita gerada pelo SGFV do cenário 3, também foi necessário calcular a geração de energia do sistema. O cálculo foi feito de maneira análoga aos cenários anteriores, através da multiplicação do valor da potência instalada total em kWp, que é de 98,56 kWp, pelo valor da irradiação solar no local, que foi estipulado como 3,235 kWh/m².dia. Desta forma, chega-se a um valor de 318,84 kWh gerados por dia. Multiplicando este valor por 365 dias do ano, obtêm-se o valor de 116377,18 kWh gerados no primeiro ano. Para os anos seguintes, é possível notar uma queda na produtividade do SGFV devido ao desgaste dos módulos fotovoltaicos. De acordo com o fabricante, deve-se considerar uma queda de 2% no primeiro ano, e de 0,55% nos anos seguintes. Por fim, o valor da tarifa utilizado também foi corrigido, seguindo a mesma variação de 9,49% ao ano.

4.4.3.3 Retorno do investimento (payback)

Para cálculo do retorno do investimento, foi utilizado o método do fluxo de caixa. Onde o valor da receita gerada, mostrado na Tabela 21 foi subtraído dos valores referentes aos gastos, apresentados nas tabelas 18, 19 e 20, e o saldo final é o ponto de partida para o ano seguinte. A Tabela 22 mostra o fluxo de caixa para o cenário 3.

Tabela 22 - Cálculo do retorno do investimento no cenário 3.

Ano	Despesas	Receita	Fluxo de caixa acumulado
1	R\$ 321,557.71	R\$ 94,075.82	-R\$ 227,481.89
2	R\$ 26,857.50	R\$ 100,943.55	-R\$ 153,395.84
3	R\$ 29,088.33	R\$ 109,915.21	-R\$ 72,568.96
4	R\$ 31,509.94	R\$ 119,684.26	R\$ 15,605.36
5	R\$ 34,139.07	R\$ 130,321.57	R\$ 111,787.85
6	R\$ 36,993.94	R\$ 141,904.29	R\$ 216,698.21
7	R\$ 40,094.41	R\$ 154,516.47	R\$ 331,120.26
8	R\$ 43,462.12	R\$ 168,249.59	R\$ 455,907.74
9	R\$ 47,120.65	R\$ 183,203.29	R\$ 591,990.38
10	R\$ 141,019.63	R\$ 199,486.04	R\$ 650,456.79
11	R\$ 55,415.33	R\$ 217,215.97	R\$ 812,257.44
12	R\$ 60,110.04	R\$ 236,521.70	R\$ 988,669.10
13	R\$ 65,213.15	R\$ 257,543.29	R\$ 1,180,999.24
14	R\$ 70,760.99	R\$ 280,433.24	R\$ 1,390,671.49
15	R\$ 76,793.14	R\$ 305,357.59	R\$ 1,619,235.94
16	R\$ 83,352.80	R\$ 332,497.18	R\$ 1,868,380.32
17	R\$ 90,487.07	R\$ 362,048.88	R\$ 2,139,942.14
18	R\$ 98,247.32	R\$ 394,227.08	R\$ 2,435,921.90
19	R\$ 106,689.61	R\$ 429,265.22	R\$ 2,758,497.51
20	R\$ 285,946.89	R\$ 467,417.47	R\$ 2,939,968.10
21	R\$ 125,870.43	R\$ 508,960.62	R\$ 3,323,058.29
22	R\$ 136,748.46	R\$ 554,196.05	R\$ 3,740,505.89
23	R\$ 148,588.61	R\$ 603,451.92	R\$ 4,195,369.19
24	R\$ 161,477.55	R\$ 657,085.55	R\$ 4,690,977.18
25	R\$ 175,509.90	R\$ 715,486.03	R\$ 5,230,953.31

Fonte: Autoria própria (2024)

Analisando o fluxo de caixa da Tabela 22, percebe-se que a cooperativa proposta no cenário 3 chega ao retorno do investimento ao final do ano 4,

demonstrando a viabilidade no investimento em uma cooperativa de energia neste cenário específico.

4.4.4 Investimento inicial nos 3 cenários

O Quadro 14 apresenta o investimento inicial para cada um dos perfis nos 3 cenários. Considerou-se o investimento inicial como os custos dos equipamentos e integração, bem como os custos administrativos para fundar a cooperativa. O valor total do investimento foi dividido entre as unidades consumidoras de maneira proporcional ao consumo de energia de cada uma de cada uma.

Quadro 14 - Resumo do investimento inicial para os três cenários.

Cenário	Perfil	Quantidade de UC's	Percentual	Investimento inicial
1 (1 a 2 salários mínimos)	Casal	10	2.90%	R\$ 1,555.03
	Família pequena	7	5.80%	R\$ 3,110.05
	Família grande	3	10.14%	R\$ 5,442.60
2 (3 a 5 salários mínimos)	Casal	10	2.90%	R\$ 2,715.62
	Família pequena	7	5.80%	R\$ 5,431.24
	Família grande	3	10.14%	R\$ 9,504.67
3 (10 a 20 salários mínimos)	Casal	10	2.90%	R\$ 8,628.81
	Família pequena	7	5.80%	R\$ 17,257.62
	Família grande	3	10.14%	R\$ 30,200.83

Fonte: Autoria própria (2024)

Devido ao fato de os 3 cenários terem a mesma composição de perfis, observa-se que o percentual de participação na cooperativa é igual para os três cenários. A principal diferença está nos valores de investimento inicial, que se baseiam na demanda de energia de cada um dos perfis em seus respectivos cenários. Destaque para os valores por UC do cenário 1, que chegam a superar o valor do salário mínimo e, em caso de ausência de opções de financiamento, podem desincentivar o consumidor desta faixa de renda a aderir a uma cooperativa de energia.

5 CONCLUSÕES

Tendo em vista os objetivos propostos durante o desenvolvimento deste trabalho, foi possível adquirir mais conhecimento sobre cooperativas de energia, sistemas de geração fotovoltaicos, e traçar as diferenças entre as cooperativas e os outros modelos existentes para geração distribuída.

Por meio da revisão da legislação brasileira e resoluções normativas da ANEEL pertinentes ao tema, pode-se notar que o cenário da geração distribuída passou por diversas mudanças desde a primeira resolução que tratou sobre esta área. Os critérios de mini e microgeração distribuída também foram atualizados de forma a abranger de maneira melhor a crescente adesão dos consumidores a energias de fontes renováveis.

A resolução normativa 1059 da ANEEL é, até o momento de publicação deste trabalho, o documento mais atualizado sobre geração distribuída, que auxilia a distinguir as diferentes modalidades que podem ser utilizadas para geração distribuída no Brasil. Sobre as modalidades existentes, devido a diferença entre elas, é de suma importância uma análise contextual sobre qualquer projeto de implantação de energia solar fotovoltaica. Cada modalidade se aplica melhor com necessidades específicas, entendê-las é primordial para que o consumidor, ou grupo de consumidores, adotem a modalidade que melhor atenda suas necessidades, trazendo conseqüentemente maior vantagem para os envolvidos.

Tratando-se especificamente do modelo de cooperativa, foi possível identificar que este modelo é uma importante alternativa para consumidores que não se encontrem num mesmo condomínio (estando assim impedidos de adotar geração distribuída em condomínios), e que não possuam condições de implantar geração fotovoltaica em seus terrenos, seja por sombreamento, falta de espaço, ou outros fatores limitadores. Assim, pode-se dizer que por meio da união em formato de cooperativa, estes consumidores passam a ter acesso a energia solar de forma coletiva, superando as eventuais barreiras individuais que cada um deles enfrentaria. Para este grupo de consumidores, a possibilidade de se unirem neste formato não só torna o acesso à energia solar possível, mas também democratiza

assim o acesso à energia de fontes renováveis, contribuindo para formação de uma matriz energética mais limpa e sustentável.

O estudo da matriz energética brasileira, principalmente por meio da interpretação dos dados da ANEEL e ABSOLAR, indicam que a energia solar fotovoltaica está crescendo no país, se tornando um ator cada vez mais relevante no cenário energético nacional. Analisando as constantes melhorias tecnológicas nos equipamentos que compõem o SGFV, percebe-se um notável avanço na área, no que diz respeito ao rendimento dos módulos, qualidade da energia produzida, bem como melhora dos custos de aquisição destes equipamentos, outro fator que impulsiona o crescimento da energia solar no país.

Neste contexto, ao se analisar a formação de cooperativas de energia em Curitiba para três cenários diferentes, foi possível perceber que em todos os cenários, se alcança o retorno do investimento entre o quarto e quinto ano após a implantação do sistema, representando uma alternativa viável e vantajosa para geração de energia em Curitiba. No cenário 1, porém, há uma condição adicional para que a cooperativa seja bem sucedida: boas opções de financiamento. Uma vez que os consumidores deste cenário possuem renda entre um e dois salários-mínimos, ter de desembolsar o valor integral do investimento inicial numa única parcela pode constituir uma significativa barreira para os consumidores aderirem à cooperativa. Em contrapartida, caso os consumidores consigam boas opções de financiamento, pode ser possível que o investimento seja pago com o valor antes utilizado para o pagamento da fatura de energia. Desta maneira, a reunião de pequenos consumidores em formato de cooperativa pode promover o acesso a energia renovável, assim como impulsionar o desenvolvimento local de maneira sustentável, colocando as cooperativas de energia num patamar de agentes positivos para melhoria da sociedade como um todo.

Por fim, este trabalho buscou analisar o acesso a energia por parte de pequenos consumidores na cidade de Curitiba num contexto de cooperativismo e colaboração mútua. Futuros estudos similares ao deste trabalho podem ajudar a comprovar a viabilidade das cooperativas em outras regiões do país, e difundir mais as informações sobre cooperativas de energia, contribuindo para maior adoção deste tipo de modalidade por parte de pequenos consumidores.

Existe ainda um outro contexto, onde pessoas dispostas a investir se organizem para implantar geração solar fotovoltaica e comercializarem a energia gerada, seja em formato de cooperativa ou em outros modelos que envolvam geração distribuída. Assim, este trabalho também evidencia a relevância de futuros estudos envolvendo os modelos de geração distribuída, empreendedorismo, panoramas regulatórios nacionais, e democratização de energias renováveis. Tais estudos, possuiriam potencial de contribuir de maneira importante para trazer mais clareza quanto as diversas possibilidades de utilização dos modelos de geração distribuída no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR10899 : Energia solar fotovoltaica – Terminologia**. 2006.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. 2013.

ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. Infográfico ABSOLAR nº59**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico>. Acesso em: 30 set. 2023.

ALMEIDA, Rainara Verde Serra. **Sujeitos de Interesses e Discurso: um olhar crítico sobre Políticas Públicas de energia renovável no Brasil**. 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Grupo B**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>. Acesso em: 13 nov. 2023.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. 2021a. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: 15 set. 2023.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. 2021b. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_4.pdf. Acesso em: 10 nov. 2023.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/atren2012482.pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 1059, de 7 de fevereiro de 2023**. 2023a. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. 2023b. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 5 mai. 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Controle da Inflação: Histórico de Metas**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicometas>. Acesso em: 05 mai. 2024.

BARBIERO, Roberto Crespan; FRANCATO, Alberto Luiz; PINHEIRO, Vinícius de Carvalho Neiva. Cooperative Generation of photovoltaic solar energy with adoption of microgrids in residential condominiums: Geração cooperativa de energia solar fotovoltaica com adoção de microrredes em condomínios residenciais. **Concillium**, v. 23, n. 18, p. 614-627, 2023.

BARCA, Sefania. Energy, property, and the industrial revolution narrative. **Ecological Economics**, v. 70, n. 7, p. 1309-1315, 2011.

BETINI, Roberto Cesar. Estratégias de pesquisa e desenvolvimento para a redução do uso de combustíveis fósseis. *In*: PEREIRA, Thulio Cícero Guimarães (org.). **Energias Renováveis: Políticas Públicas e Planejamento Energético**. Curitiba: Edição digital, 2014. p. 100-115.

BRASIL. **Lei 6.404 de 15 de dezembro de 1976**. 1976. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6404consol.htm. Acesso em: 12 nov. 2023.

BRASIL. **Lei 14.300 de 6 de janeiro de 2022**. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 12 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 5.764, de 16 de dezembro de 1971**. 1971. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5764.htm. Acesso em: 26 set. 2023.

CAMPOS, Rodrigo da Silva. **Estudo de viabilidade de um sistema fotovoltaico on-grid e híbrido**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CAPELLÁN-PÉREZ, Iñigo; CAMPOS-CELADOR, Álvaro; TERÉS-ZUBIAGA, Jon. Renewable Energy Cooperatives as an instrument towards the energy transition in Spain. **Energy Policy**, v. 123, p. 215–229, 2018.

COUSSEAU, Fernando; PAN, Aline Cristiane. Estudo de viabilidade para proposição de uma cooperativa solar fotovoltaica para Serra Nordeste do Rio Grande do Sul. *In*: **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS**. 2018.

DE MENEZES, Lucas Lira; MADUREIRA, Carolina Pereira; DOS SANTOS JÚNIOR, Raimundo Batista. Os impactos econômicos e ambientais em torno da adesão da energia fotovoltaica pelos Institutos Federais no interior do Piauí. **Revista Foco**, v. 16, n. 02, p. e908-e908, 2023.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo Residencial de Energia Elétrica por Classes de Renda**. 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-729/FactSheetConsumoPorClassesDeRenda_Final09032023.pdf. Acesso em: 14 nov. 2023.

GAMA, Gabriela Alves da. **Design arquitetural de software aplicado a sistemas de larga escala: revisão de literatura cinzenta**. 2022.

GARCIA, Gabriela; NOGUEIRA, Eliel Ferreira; BETINI, Roberto Cesar. Solar energy for residential use and its contribution to the energy matrix of the state of Parana. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, p. e18000510, 2018.

GONSALVES, Rafael da Silva. **Análise econômica e técnica da inserção de sistemas fotovoltaicos para consumidores industriais**. 2023.

GREENER. **Como Estruturar um Consórcio ou Cooperativa? Entendendo como Funciona a Geração Compartilhada**, 2021. Disponível em: <https://www.greener.com.br/conteudo-integrador/como-estruturar-um-consorcio-ou-cooperativa-solar>. Acesso em: 13 nov. 2023.

GREENER. **Geração Distribuída: estudo estratégico 2024 referente ao ano de 2023**. 2024. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2024>. Acesso em 5 abr. 2024.

JUNIOR, Wanderley Paris; TAKIGAWA, Fabrício; NETO, Edison Antonio Carsoso Aranha; FERNANDES, Rubiapiara Cavalcante. Levantamento da geração distribuída compartilhada no Brasil. *In: Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS*. 2018.

LIMA, Álvaro Batista. **Análise da viabilidade de custo de uma usina solar fotovoltaica**. 2023.

LIMA, Danilo de Brito. **Cooperativas de energia: guia de constituição de cooperativas de geração distribuída fotovoltaica**. Brasília: Sistema OCB, Cooperação Alemã, Giz, DGRV, 2018. Disponível em: <https://www2.energia.coop/brasil/wp-content/uploads/2020/08/Guia-de-Constituic%CC%A7a%CC%83o-de-Cooperativas-de-Gerac%CC%A7a%CC%83o-Distribui%CC%81da-Fotovoltaica-3.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2023.

MARIANO, Juliana D'Angela; URBANETZ JUNIOR, Jair. **Energia solar fotovoltaica: Princípios fundamentais**. 2022. Edição digital. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/energia-solar-fotovoltaica-principios-fundamentais>. Acesso em: 19 jul. 2023.

MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco José Lopes de; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel de Lima; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. **Atlas brasileiro de energia solar** 2.ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 80p. 2017. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/items/3a0c7b2a-a107-4cc9-9449-f08db316e47e>. Acesso em: 15 nov. 2023.

MENDES SOUZA, Murilo. **Viabilidade técnica de uma usina solar fotovoltaica de 1mw sistema de cooperativa**. 2022. 61p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2022.

MOURA NETTO, Allana de. **Geração compartilhada de energia elétrica por meio de consórcios e cooperativas**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

OLIVEIRA, Izaac Moraes de. **Análise de viabilidade de inversores de frequência aplicados a projetos fotovoltaicos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso.

RESCOOP. **European Federation of Renewable Energy**. Cooperatives, 2016. Disponível em: <https://rescoop.eu/>. Acesso em: 19 abr. 2021.

SCHNEIDER, Kathlen. Geração comunitária e descentralizada de energia renovável no Brasil: cooperativas de geração distribuída compartilhada. **Diálogos Socioambientais na Macrometrópole Paulista**, v. 3, n. 09, p. 39-42, 2020.

SEBRAE ENERGIA. **Energia Solar Fotovoltaica para os municípios**, 2018. Disponível em: [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/f8ed658ccf8b66c56be84932baa5b490/\\$File/19628.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/f8ed658ccf8b66c56be84932baa5b490/$File/19628.pdf). Acesso em: 30 set. 2023.

SILVA, Jonas Rodrigues. **Uma sequência de ensino investigativa para a abordagem do efeito fotovoltaico**. 2020.

VARGAS, Pedro Parron. **Energia Solar Fotovoltaica: Análise de sua expansão no Brasil**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.