

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**MARIA LAURA MASON
MATHEUS PEREIRA LAURINDO
YVANA LOPES PINHEIRO DA SILVA**

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COMO ALTERNATIVA PARA INVESTIMENTOS
IMOBILIZADOS**

CURITIBA

2022

MARIA LAURA MASON
MATHEUS PEREIRA LAURINDO
YVANA LOPES PINHEIRO DA SILVA

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COMO ALTERNATIVA PARA INVESTIMENTOS
IMOBILIZADOS**

Photovoltaic systems as alternative for fixed investments

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. Gerson Máximo Tiepolo.

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/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) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MARIA LAURA MASON
MATHEUS PEREIRA LAURINDO
YVANA LOPES PINHEIRO DA SILVA

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COMO ALTERNATIVA PARA INVESTIMENTOS
IMOBILIZADOS**

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: 07/junho/2022

Gerson Máximo Tiepolo
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jair Urbanetz Junior
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jorge Assade Leludak
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA
2022

RESUMO

A energia elétrica é um recurso predominantemente presente na sociedade contemporânea, sendo um elemento fundamental para vários setores importantes para o desenvolvimento socioeconômico, como o setor industrial, de transportes e construção civil. O consumo energético é crescente e o aumento da demanda elétrica é um grande desafio para o futuro. A maior parte do mundo gera energia elétrica de forma não renovável, através de combustíveis fósseis. O Brasil, por sua vez, possui uma matriz limpa, majoritariamente hidrelétrica, entretanto os maiores potenciais para essa geração já foram utilizados, sendo necessário alternativas para a expansão da geração de energia. Portanto, a energia fotovoltaica se apresenta como uma ótima solução para esse problema, uma vez que é totalmente renovável, depende de uma fonte de energia inesgotável, além da possibilidade de cada usuário do sistema elétrico gerar sua própria energia através da chamada geração distribuída. O presente estudo analisou o custo de oportunidade de investimento na instalação de um sistema fotovoltaico em duas cidades do Paraná, Curitiba e Cascavel, a fim de descontar o valor equivalente de energia elétrica gerado para um condomínio da região central de Curitiba. Ambos os cenários foram favoráveis, sendo que em Curitiba o valor economizado foi de 3,8 vezes maior que o investimento em renda fixa, enquanto que para Cascavel esse valor foi de 4,5 vezes maior. Esse processo garante uma vantagem financeira, uma vez que os custos para implantação do sistema são muito menores que os custos da energia gerada por ele durante a sua vida útil. Dessa forma, o investimento em geração distribuída apresenta-se como uma ótima alternativa para investimento imobilizado.

Palavras-chave: energia fotovoltaica, geração distribuída, viabilidade econômica.

ABSTRACT

Electric energy is a predominantly present resource in contemporary society, being a fundamental element for several important sectors for socioeconomic development, such as the industrial, transport and civil construction sectors. Energy consumption is increasing and the increase in electrical demand is a major challenge for the future. Most of the world generates electricity in a non-renewable way, using fossil fuels. Brazil, in turn, has a clean matrix, mostly hydroelectric, however the greatest potential for this generation has already been used, and alternatives are needed for the expansion of energy generation. Therefore, photovoltaic energy presents itself as a great solution to this problem, since it is completely renewable, depends on an inexhaustible source of energy, in addition to the possibility of each user of the electrical system to generate their own energy through the so-called distributed generation. The present study analyzed the opportunity cost of investing in the installation of a photovoltaic system in two cities in Paraná, Curitiba and Cascavel, in order to discount the equivalent value of electricity generated for a condominium in the central region of Curitiba. Both scenarios were favorable, and in Curitiba the amount saved was 3.8 times greater than the investment in fixed income, while for Cascavel this value was 4.5 times greater. This process guarantees a financial advantage, since the costs for implementing the system are much lower than the costs of the energy generated by it during its useful life. In this way, the investment in distributed generation presents itself as a great alternative for fixed investment.

Keywords: photovoltaic energy, distributed generation, economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Geração de Energia Elétrica por Fonte em 2019.....	11
Figura 2 - Irradiação média diária mensal na cidade de Curitiba.....	12
Figura 3 - Irradiação global horizontal no Paraná.....	16
Figura 4 - Estimativa do consumo final total de energia, por fonte, 2019.....	19
Figura 5 - Consumo final de eletricidade, por setor.....	20
Figura 6 - Adições anuais de capacidade de energia renovável, por tecnologia e total, 2014-2020.....	21
Figura 7 - Ilustração das componentes da radiação solar.....	22
Figura 8 - Diagrama com as principais tecnologias de células fotovoltaicas atuais ..	24
Figura 9 - Representação de um SFV interligado a um circuito de aplicação.....	25
Figura 10 - Representação de um SFVCR convencional.....	26
Figura 11 - Processo hierarquizado de agrupamento da célula, do módulo e do painel FV.....	27
Figura 12 - Materiais utilizados na fabricação do módulo fotovoltaico.....	28
Figura 13 - Capacidade global solar fotovoltaica e adições anuais, 2010-2020.....	31
Figura 14 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.....	32
Figura 15 - Modalidades de Geração Distribuída e seus respectivos requisitos.....	35
Figura 16 - Probabilidade de viabilidade econômica nas capitais brasileiras.....	40
Figura 17 - Tarifa média por função de custo evolução em 11 anos (R\$/MWh).....	40
Figura 18 - Mapa de irradiação solar do Paraná no plano inclinado na latitude.....	43
Figura 19 - Curva I-V do módulo fotovoltaico.....	45
Figura 20 - Custo total da instalação de um Sistema Fotovoltaico na faixa de 50 kWp.....	46
Figura 21 - Composição do custo total da instalação de um Sistema Fotovoltaico...	47
Figura 22 - IPCA nos últimos 15 anos.....	47
Figura 23 – Dimensões do módulo fotovoltaico.....	48
Figura 24 – Layout dos módulos fotovoltaicos.....	49
Figura 25 - Análise de custo de oportunidade do investimento.....	55
Quadro 1 - Terminologias relacionadas à energia solar fotovoltaica.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo condomínio no ano de 2021	42
Tabela 2 - Produtividade nas cidades avaliadas	43
Tabela 3 - Dados elétricos do módulo fotovoltaico	44
Tabela 4 - Terrenos e custos de aluguel	48
Tabela 5 - Payback simples para cada terreno	49
Tabela 6 - Reajustes na tarifa de energia da Copel.....	50
Tabela 7 - Análise de payback descontado.....	50
Tabela 8 - Análise do VPL	51
Tabela 9 - Análise da TIR	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
WRC	<i>World Radiation Center</i>
LABENS	Laboratório de Energia solar da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
GD	Geração Distribuída
FV	Fotovoltaico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFVI	Sistema Fotovoltaico Isolado
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa interna de Retorno
CMPC	Custo Médio Ponderado de Capital

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Contextualização	10
1.2	Delimitação do Tema	13
1.3	Problemas e Premissas.....	13
1.4	Objetivos	14
1.4.1	Objetivo Geral	14
1.4.2	Objetivos Específicos	14
1.5	Justificativa	14
1.6	Procedimentos Metodológicos	16
1.7	Estrutura do Trabalho.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Matriz Energética Global	18
2.2	Radiação Solar e Conversão de Energia	21
2.3	Tecnologias e Componentes Fotovoltaicos	24
2.3.1	Sistema Fotovoltaico	25
2.3.2	Elementos do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.....	26
2.4	Expansão da Energia Solar Fotovoltaica	29
2.4.1	Capacidade Fotovoltaica Instalada no Mundo e no Brasil.....	30
2.4.2	Crescimento da Energia Solar Fotovoltaica no Paraná	32
2.5	Regulamentação da Geração Distribuída no Brasil.....	33
2.5.1	Resolução Normativa 687.....	33
2.5.2	Marco Legal da Geração Distribuída.....	35
2.6	Viabilidade Econômica	37
2.6.1	Custo Médio Ponderado de Capital.....	37
2.6.2	Taxa Mínima de Atratividade	38
2.6.3	Métricas de Viabilidade	39
2.6.4	Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil	39
2.6.5	Simulação de Implementação do Projeto	41
3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	42
3.1	Consumo do Condomínio	42

3.2	Consulta de Dados de Irradiação.....	43
3.3	Dimensionamento do Sistema.....	44
3.4	Levantamento dos Custos.....	46
3.4.1	Custo do Sistema.....	46
3.4.2	Custos do terreno.....	47
3.5	Retorno de Investimento.....	49
3.5.1	<i>Payback</i> Simples e Descontado	49
3.5.2	VPL	51
3.5.3	TIR	52
3.5.3	Comparativo com Renda Fixa.....	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

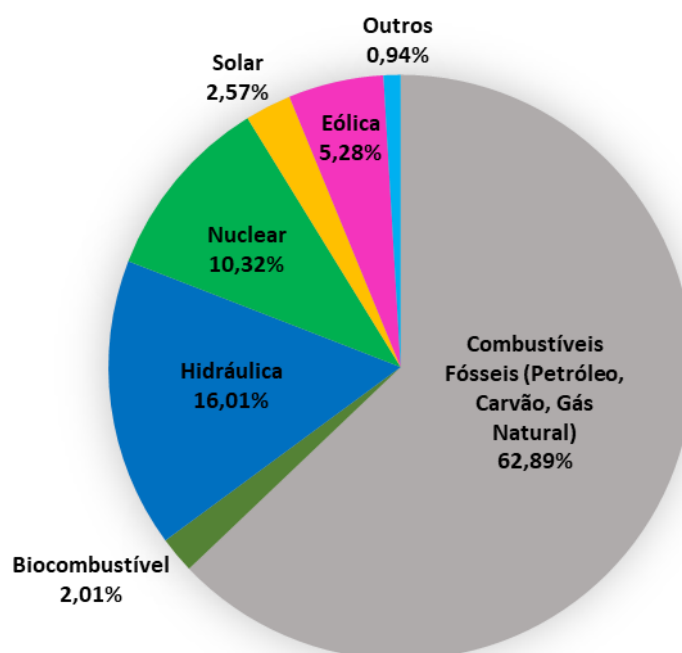
1.1 Contextualização

O Sol pode ser considerado um reator de fusão nuclear operando a cerca de cem milhões de graus Celsius a uma distância média de cento e cinquenta milhões de quilômetros da Terra. No topo da atmosfera, a radiação solar (irradiância solar) é reduzida a 1.367W/m^2 (valor adotado pelo WRC – *World Radiation Center*), sendo esse número conhecido como constante solar (PINHO; GALDINO, 2014).

Considerando que o raio médio da Terra é de 6.371 km e o valor de irradiância de 1.367 W/m^2 , pode-se inferir que a potência total disponibilizada pelo Sol a Terra, no topo da atmosfera, é de aproximadamente 174.000 TW. Contudo, ao atravessar a atmosfera, a radiação solar sofre atenuação por absorção pelos elementos presentes nesta camada e espalhamento pelo ar, vapor d'água e poeira. Dessa forma, da potência total disponibilizada, cerca de 94.000 TW chegam efetivamente à superfície (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2022), o consumo de energia elétrica mundial foi da ordem de 25.027 TWh em 2019. Assim, pode-se calcular a razão entre o consumo de 2019 e a estimativa de incidência para obter o tempo necessário para produção da energia consumida em todo o ano, chegando a um valor aproximado de 16 minutos. Isso significa que, se fosse possível captar toda a potência instantânea de energia solar que chega ao nosso planeta, esse seria o tempo necessário para suprir todo o consumo de energia elétrica do ano de 2019.

Ainda, segundo a IEA, a geração de energia elétrica a partir de fontes solares representaram 2,57% da matriz elétrica global em 2019, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Geração de Energia Elétrica por Fonte em 2019

Fonte: Adaptado de IEA (2022)

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2021), a matriz elétrica brasileira se difere da matriz elétrica mundial por ter sua origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por 65,2% da oferta interna. Apesar desse potencial significativo, existem empecilhos no que diz respeito à instalação de novos empreendimentos hidrelétricos:

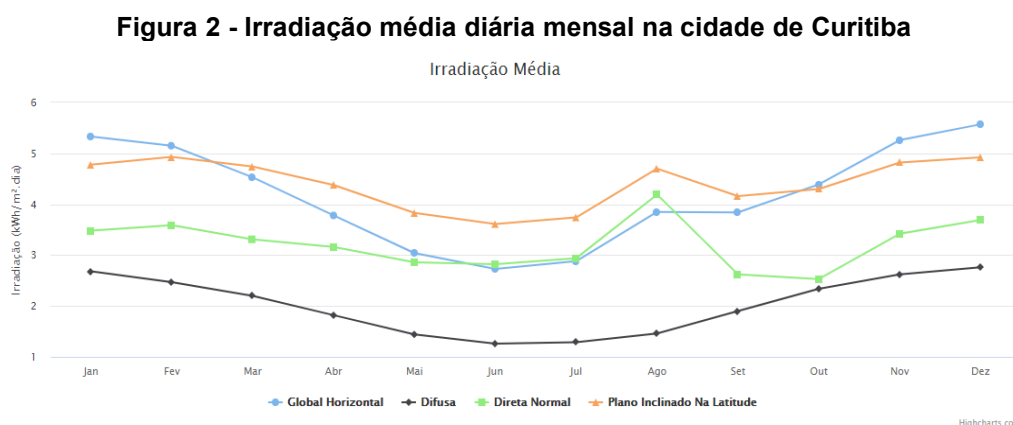
De acordo com as estratégias traçadas, a hidroeletricidade se manterá predominante até 2030 devido principalmente à competitividade econômica com as termelétricas. Sendo assim, o Brasil que possui uma capacidade aproveitável de instalação de 174 GW deverá aproveitar até 2030 cerca de 94% do montante disponibilizado, ou seja, 164 GW. Porém, tal aproveitamento implica em enfrentar diversos desafios ambientais já que a maior parte dos recursos ainda disponíveis para o aproveitamento encontra-se na Amazônia legal (LIMA et al., 2014).

O Estado do Paraná se coloca como um dos estados na dianteira das pesquisas sobre o estudo do potencial de geração de energia elétrica através da fonte solar fotovoltaica, por meio da iniciativa do Grupo de Pesquisa em Energia Solar e Sistemas Fotovoltaicos e do Laboratório de Energia Solar (LABENS) da Universidade

Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) que em conjunto com a Itaipu Binacional e com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realizaram uma parceria para elaboração do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná - 1ª Edição, disponibilizado para toda à sociedade através do site www.atlassolarparana.com. O objetivo desse projeto foi o de “disponibilizar uma ferramenta de consulta e análise do potencial de irradiação solar e da geração de energia elétrica fotovoltaica no estado, de forma a promover e disseminar o uso desta tecnologia em prol do desenvolvimento sustentável” (TIEPOLO et al., 2017a).

A capital do estado, Curitiba, é conhecida por ser uma cidade fria, sendo sua média de temperatura a menor entre as capitais brasileiras. Esse aspecto nos leva a imaginar que o potencial de geração fotovoltaica seja extremamente pequeno. Entretanto, a relação entre temperatura e irradiação, e por consequência a produtividade, não é linear. A média de irradiação na cidade de Curitiba é apenas 8,6% menor que a média de todo o território brasileiro, e apenas 1,2% menor que a média do estado de Santa Catarina (TIEPOLO, 2015).

Na Figura 2, pode-se ver os valores de irradiação média diária mensal na cidade de Curitiba:



Fonte: Tiepolo et al. (2017b)

Em 2022, de acordo com a ANEEL (2022), 184.069 novas conexões de Geração Distribuída (GD) – que é a geração de energia elétrica de pequeno porte realizada junto ao próprio agente consumidor – foram instaladas no território brasileiro. Ainda, segundo os dados fornecidos, o setor residencial é o principal agente da GD no Brasil, com 4.949.504,12 kW de potência instalada.

Os fatos citados evidenciam que, apesar de termos vivenciado um momento de crise acentuada devido à pandemia do COVID-19, a GD continua em crescimento. Além disso, a predileção da geração de energia fotovoltaica entre as fontes renováveis demonstra a necessidade da realização de estudos de viabilidade econômica, que são fundamentais para a prospecção de novas instalações fotovoltaicas.

1.2 Delimitação do Tema

Este projeto visa avaliar o sistema fotovoltaico como alternativa de investimento imobilizado para um condomínio da região de Curitiba.

O estudo de viabilidade do sistema fotovoltaico avaliará apenas a tecnologia de painéis de silício cristalino, por ser o tipo de tecnologia predominantemente disponível no mercado.

1.3 Problemas e Premissas

A micro e minigeração distribuída (MMGD) foi regulamentada no Brasil em 2012 pela ANEEL por meio da Resolução Normativa (REN) nº 482 e corresponde aos empreendimentos de geração elétrica participantes do sistema de compensação de energia. No ano de 2015 houve a sua revisão, por meio da Resolução Normativa (REN) nº 687, estabelecendo novas diretrizes, entre elas a possibilidade do autoconsumo remoto, onde unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica ou Pessoa Física que possua sistema de Geração Distribuída em local diferente terão a energia excedente compensada, desde que instaladas na mesma área de concessão da concessionária de energia. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2027, o modelo regulatório estimulante aliado à diminuição dos custos das tecnologias de micro e a minigeração distribuídas acelera o processo de conexão e eleva o acesso à geração distribuída, viabilizando a ascensão dos consumidores de uma posição passiva para ativa no setor elétrico.

Nesse contexto, o aproveitamento solar fotovoltaico se destaca por manifestar maior potencial de expansão no cenário decenal em função da queda de custo, facilidade de acesso e por sua característica de modularidade o que permite a facilidade de instalação de uma planta geradora e a adição de mais painéis, caso seja necessário ampliar o sistema (EPE, 2020).

Com o intuito de atenuar as faturas de eletricidade e investir o capital, a busca por sistemas próprios de geração é expressiva por parte dos consumidores (GREENER, 2021). Como comentado, será avaliada a viabilidade econômica de projetos de sistemas fotovoltaicos como alternativa de investimento em ativo imobilizado para um condomínio, tendo em vista o sistema de crédito de energia e a legislação determinada pela REN 482/2012.

Na região de Curitiba, os terrenos localizados entre 10 e 20 km do centro apresentam um valor mais baixo em relação aos de até 5 km da região central (FERRI, 2009). Atualmente é necessário que o terreno tenha uma construção mínima de 15% para que o terreno não seja considerado mal utilizado (IPPUC, 2019). Com isso, a utilização de terrenos para instalação de Sistemas de Micro e Minigeração Distribuída se apresentam como uma alternativa sustentável para terrenos ociosos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Estudo de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica para autoconsumo remoto em um condomínio da região de Curitiba como alternativa para investimentos imobilizados.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o consumo de energia de um condomínio da região central da cidade de Curitiba-PR;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico para a necessidade do condomínio avaliado e verificar a viabilidade econômica de instalação em um terreno alugado;
- Levantar os custos de manutenção e aluguel de terrenos para instalação;
- Comparar o retorno financeiro dos sistemas fotovoltaicos com o custo de oportunidade.

1.5 Justificativa

A matriz elétrica brasileira é composta fundamentalmente por usinas hidrelétricas, termelétricas, nucleares, eólicas e biomassa, sendo predominante a geração hidrelétrica (EPE, 2021). Impactos ambientais consideráveis são provocados

através da instalação de usinas hidrelétricas devido à necessidade de construção de amplos reservatórios para garantir a geração de energia. Mesmo assim, a garantia do abastecimento de energia pode ser comprometida, pois a geração fica sujeita a efeitos climáticos adversos, como a estiagem. Além disso, de acordo com o

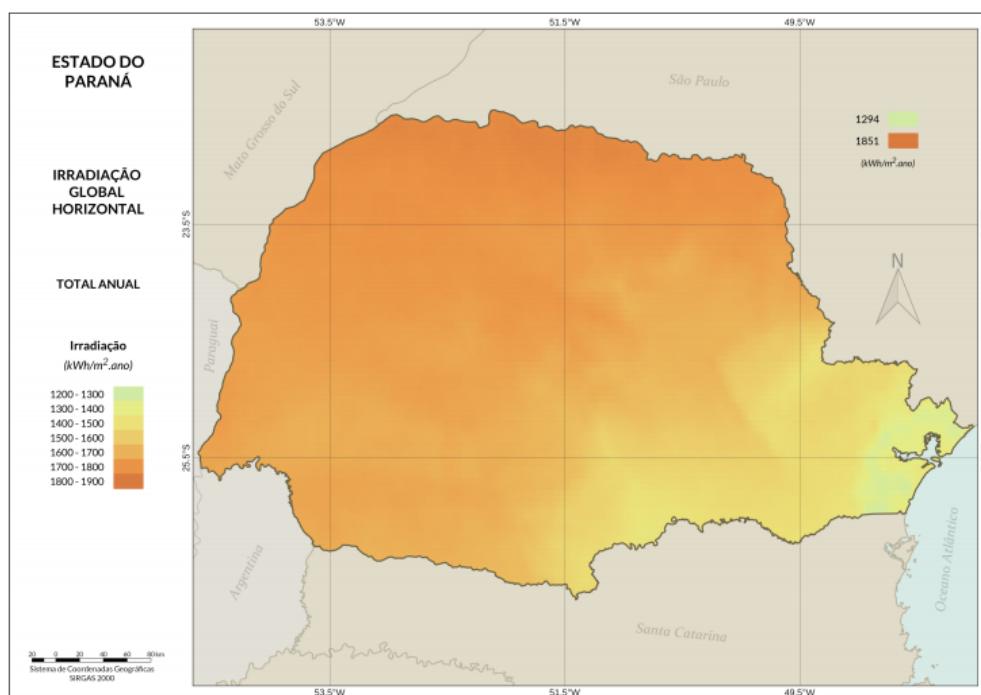
Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (FIELD, et al., 2014), o setor elétrico global é um dos principais responsáveis pela emissão de carbono, devido à geração de energia a partir das termelétricas.

Dessa forma, a geração distribuída a partir de fontes renováveis, principalmente solar fotovoltaica, é uma estratégia para substituir a geração de energia com combustíveis fósseis, reduzindo a emissão de gases que causam o efeito estufa (CAMPOS, 2015), e também para diversificação da matriz elétrica brasileira.

Outros fatores corroboram para o investimento em sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica, como as atuais condições de financiamento existentes das instituições financeiras. Uma delas é oferecida pelo Banco do Brasil, com a linha de Consórcio Bens e Serviços Sustentáveis, que possibilita aquisição de placas fotovoltaicas e serviços de instalação. A comercialização dos excedentes da geração fotovoltaica também é uma alternativa que permite que novos modelos de negócio sejam criados, como a figura do empreendedor que investe na implantação de sistemas fotovoltaicos para venda da geração para o consumidor e para o Ambiente de Contratação Livre - ACL (ProGD, 2019).

Além disso, pode-se levar em consideração o potencial de radiação solar do estado do Paraná, conforme a Figura 3, e a acessibilidade de linhas de transmissão e subestações. Para sistemas fotovoltaicos, a previsão da energia gerada pode ser feita com certa precisão a partir de análises, no qual é possível inferir que tais investimentos podem ser considerados de baixo risco.

Figura 3 - Irradiação global horizontal no Paraná



Fonte: Tiepolo et al. (2017a)

1.6 Procedimentos Metodológicos

Este estudo busca avaliar a viabilidade econômica e o retorno de capital de um sistema fotovoltaico. Foi escolhido um prédio residencial da região central de Curitiba para o levantamento do consumo anual.

O dimensionamento do sistema foi ponderado para atender ao consumo de energia da fatura do condomínio, levando em consideração a tarifação da Copel para o Grupo B.

Os custos totais do sistema levam em conta o custo para o aluguel de um terreno. Para comparação de dados, serão avaliados dois terrenos em diferentes locais do Paraná.

O retorno do capital investido será avaliado levando em consideração o custo de oportunidade, que equivale ao valor que o montante de capital seria remunerado caso estivesse investido. Para efeitos de comparação, o estudo irá considerar os investimentos de fundo rural e fundo imobiliário. O prazo de investimento do capital será de vinte e cinco anos, tempo de vida útil médio dos painéis fotovoltaicos existentes no mercado.

1.7 Estrutura do Trabalho

Capítulo 1 – Introdução do Trabalho: tema a ser abordado, objetivos, resumo da metodologia aplicada, formato adotado para elaboração da pesquisa.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: apresentação da fundamentação teórica necessária para dimensionamento do sistema.

Capítulo 3 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico, cotação dos equipamentos e de terrenos: levantamento de custo de mercado para a implementação do sistema.

Capítulo 4 – Resultados e discussões: expor e comentar a análise da viabilidade econômica e comparação do retorno com o custo de oportunidade.

Capítulo 5 – Conclusões: concluir o que foi observado durante a realização de todo o trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão analisadas as questões relacionadas a matriz energética, assim como os elementos de geração de energia, tecnologia dos módulos e demais temas pertinentes a concepção dos sistemas fotovoltaicos.

2.1 Matriz Energética Global

No princípio da Idade Moderna (1400 d.C.), onde a maioria dos trabalhadores estavam no campo, sob uma economia dominada pelo setor primário, as civilizações empregavam quedas d'água e os ventos para moer grãos e realizar outras atividades. Utilizava-se também energia de origem fóssil: o carvão mineral, para o aquecimento dos ambientes e em pequenas manufaturas. A Revolução Industrial, de 1875, marcada pelo desenvolvimento da máquina a vapor, mudou radicalmente o cenário ao introduzir novas fontes de energia e métodos de trabalho, aumentando consideravelmente a produtividade. Com a intensificação da indústria, novos setores foram criados para comercializar e adequar a quantidade de novos produtos na rotina da população, elevando o consumo juntamente com a demanda energética (GOLDEMBERG, 2007).

Segundo Goldemberg (2007), no século XX, o homem tecnológico aperfeiçoou a máquina a vapor, criando motores de combustão movidos a gasolina e diesel, derivados do petróleo. Desde então, solidificou-se a relação de submissão das nações com este líquido viscoso. As fontes fósseis de energia provêm da decomposição da matéria orgânica ao longo do tempo, e seu conseqüente acúmulo no subsolo terrestre, formando petróleo, carvão mineral, gás mineral, entre outros. Tais fontes são consideradas não-renováveis, pois a reposição desses recursos requer uma perspectiva de tempo geológico. Em contrapartida, as fontes de energia renováveis são geradas a partir de ciclos e recursos naturais constantemente reabastecidos, como acontece com os potenciais hidráulicos (quedas d'água), eólicos (ventos), a radiação solar, o calor do interior do planeta (geotermal) e diversas formas de bioenergia (biomassa).

O petróleo, desde que se tornou elemento base da matriz energética da sociedade industrial, passou a ser um elemento de autoridade nas relações

contemporâneas, essencial para o andamento da economia moderna. Tendo em vista que as fontes fósseis, além de altamente agressivas ao meio ambiente, são fontes finitas de energia, o emprego de outros recursos será decisivo para a economia global (BARROS, 2007).

Embora haja um progresso em energias renováveis, as fontes de combustíveis fósseis prevalecem na matriz energética mundial (Figura 4), com presença em cerca de 80,2% do consumo energético final contra 11,2% referente às Renováveis Modernas (geotérmica, solar, eólica, hidrelétricas, biomassa) (REN21, 2021).

Figura 4 - Estimativa do consumo final total de energia, por fonte, 2019



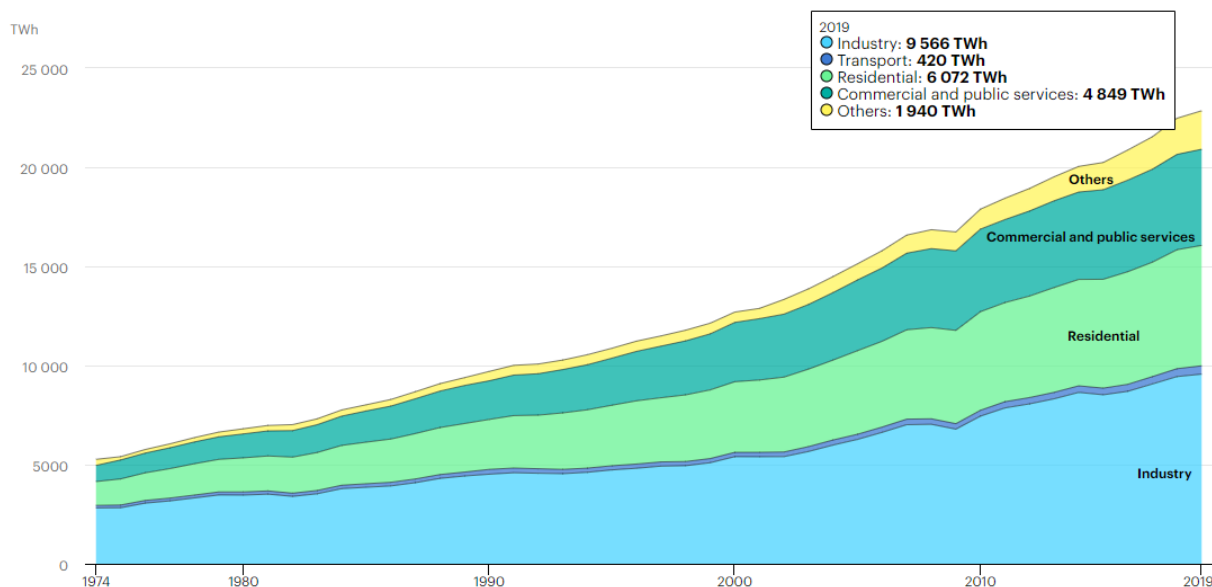
Fonte: REN21 (2021)

Abordando especificamente a matriz elétrica, a disparidade se mantém em relação ao emprego de fontes não-renováveis, conforme já citado na Figura 1. Em 2019, consumiu-se 25.027,28 TWh eletricidade no mundo, onde a geração a partir da queima de combustíveis fósseis representou 63,1% da produção total (IEA, 2022).

O uso da eletricidade predomina no setor industrial, porém, nos últimos anos, grande parte do crescimento do consumo se deve aos segmentos residenciais e comerciais (Figura 5). As demais esferas – transporte, agricultura e pesca – são pouco expressivas no todo, contudo, o transporte rodoviário experimenta um crescimento na

demanda energética, conforme se eleva a participação de veículos elétricos, principalmente em países da Europa (IEA, 2022).

Figura 5 - Consumo final de eletricidade, por setor

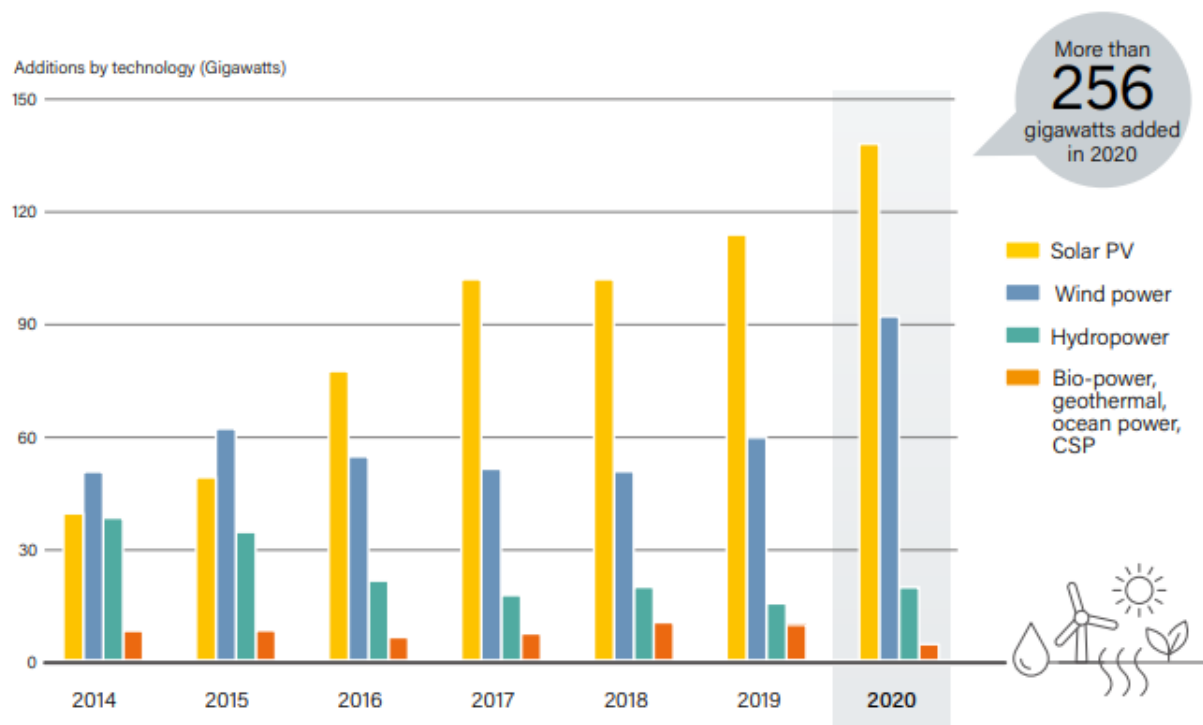


Fonte: IEA (2022)

A maneira com que a energia vem sendo utilizada não traduz os conceitos de um desenvolvimento sustentável, o qual deve atender às demandas atuais sem comprometer os recursos das gerações futuras. O aumento crescente da demanda elétrica, sustentado por fontes não renováveis de energia, torna a permanência da situação atual inviável por inúmeras razões. Há um limite de poços de petróleo disponíveis, pois aproximadamente metade do óleo que havia no planeta já foi explorada. Além dos impactos ambientais decorrentes da queima de combustíveis fósseis, e de fatores geopolíticos, como conflitos regionais (GOLDEMBERG, 2007).

Por outro lado, acentua-se a participação das fontes renováveis na geração de eletricidade, que apresentou um crescimento quatro vezes mais rápido do que fontes não renováveis no ano de 2020. Estima-se que tenha sido acrescentado um potencial de mais de 256 gigawatts (GW) em 2020 – o maior aumento da história – na matriz elétrica global. As instalações renováveis ficaram acima dos níveis de 2019, apresentando um crescimento de quase de 10% da capacidade instalada de energia renovável - Figura 6 (REN21, 2021).

Figura 6 - Adições anuais de capacidade de energia renovável, por tecnologia e total, 2014-2020



Fonte: REN21 (2021)

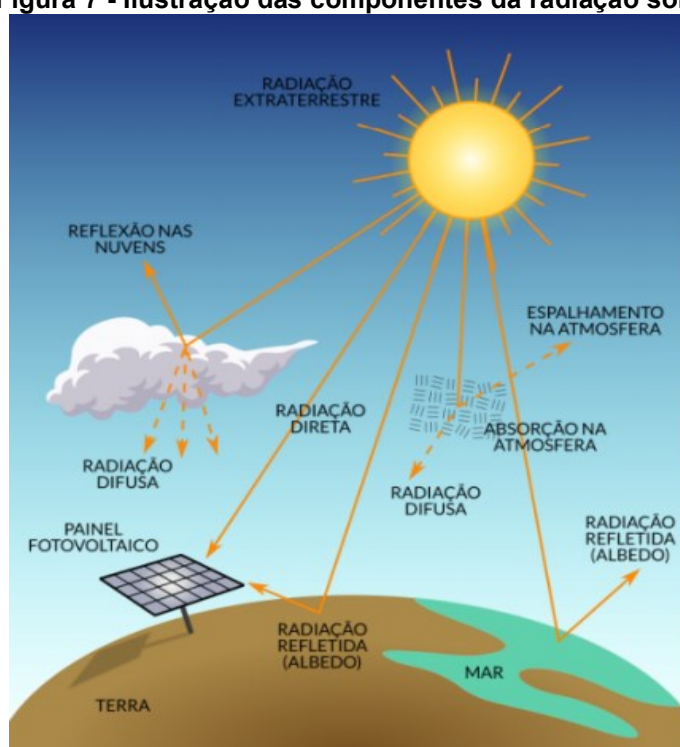
De acordo com o REN21 (2021), a capacidade instalada de energia renovável foi suficiente para fornecer uma estimativa de 29% da geração global de eletricidade até o final de 2020. Considerando a capacidade instalada de energia renovável, a China permanece como líder global (908 GW), seguido pelos Estados Unidos (313 GW), Brasil (150 GW), Índia (142 GW) e Alemanha (132 GW). A China liderou mundialmente em capacidade adicionada durante o ano de 2020, com cerca de 140 GW, seguida pelos Estados Unidos (36 GW), Vietnã (11 GW), o Brasil teve um acréscimo de 6 GW.

2.2 Radiação Solar e Conversão de Energia

A radiação solar é uma “forma de transferência de energia advinda do sol, por meio da propagação de ondas eletromagnéticas (ou fótons)” (ABNT, 2013, p. 7). À medida que essa energia entra na atmosfera terrestre, parte é perdida — absorvida ou dispersa pelas moléculas da atmosfera — e parte segue inalterada, sendo absorvida ou refletida por objetos ao nível do solo ou nuvens, conforme apresentada na Figura 7. Nem toda a energia do sol é perdida pela presença de nuvens, pois,

devido à incidência na lateral das mesmas, a radiação difusa se espalha para todos os lados, contribuindo para radiação total que chega à superfície. Além disso, a quantidade de radiação solar que incide na superfície terrestre sofre interferência de outros fatores, dependendo “da latitude local e da posição no tempo, ou seja, dia do ano e hora do dia, devido à inclinação do eixo imaginário da Terra, movimento de rotação e translação” (PERAZA, 2013, p. 11).

Figura 7 - Ilustração das componentes da radiação solar



Fonte: Tiepolo et al. (2017)

Esses fenômenos anteriormente citados possuem denominações técnicas padronizadas pela norma brasileira NBR 10899:2013 “Energia solar fotovoltaica - Terminologia”, fundamentais para a realização adequada da conversão de energia radiante solar em energia elétrica. O Quadro 1 apresenta a nomenclatura e definição relativas à radiação solar, de acordo com a norma.

Quadro 1 - Terminologias relacionadas à energia solar fotovoltaica

Nomenclatura	Abreviação	Definição
Albedo	-	Índice relativo à fração da energia radiante solar, recebida em uma unidade de área, devido à reflectância dos arredores e do solo onde está instalado um dispositivo
Irradiância solar	G	Taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície, normalmente medida em W/m^2
Irradiância difusa	G_{DIF}	Potência radiante do céu, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, excluída da irradiância direta
Irradiância direta	G_{DIR}	Irradiância solar incidente em uma superfície, sem ter sido espalhada pela atmosfera, podendo ser normal ou horizontal
Irradiância global	G_{HOR}	Potência radiante solar, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, sendo igual à irradiância direta mais a irradiância difusa
Irradiância devido ao albedo	G_{ALB}	Ver definição de albedo
Irradiância total	G_{TOT}	Potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, recebido em uma unidade de área em uma superfície com inclinação qualquer
Irradiação solar	I ou H	Irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, medida em Wh/m^2 ou J/m^2 , sendo simbolizada por “ I ”, quando integrada no tempo de uma hora, ou por “ H ”, quando integrado no tempo de um dia
Irradiação difusa	I_{DIF} ou H_{DIF}	Irradiância difusa integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia
Irradiação global	I_{HOR} ou H_{HOR}	Irradiância global integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia
Irradiação total	I_{TOT} ou H_{TOT}	Irradiância total integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia

Fonte: NBR 10899 (2013)

O processo de conversão de energia proveniente da luz em energia elétrica foi descoberto em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, e ficou conhecido como efeito fotovoltaico (WIRTH et al., 2016, p. 4). Esse efeito é obtido através de dispositivos chamados de semicondutores, assim denominados por possuírem propriedades químicas em sua composição capazes de permitir a

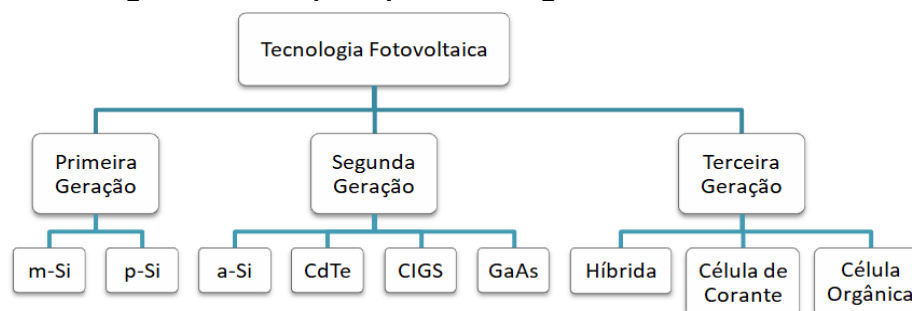
passagem de corrente elétrica a partir de um determinado estímulo — nesse contexto, o estímulo é a radiação solar.

2.3 Tecnologias e Componentes Fotovoltaicos

A célula fotovoltaica é o componente elementar que integra um sistema fotovoltaico e tem como função realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica. Sua fabricação é constituída por materiais semicondutores que, através de pesquisas e da descoberta de novos elementos semicondutores ao longo dos anos, estão em contínuo aperfeiçoamento em busca da obtenção de melhores índices de eficiência de conversão fotovoltaica. Nos últimos 10 anos, a eficiência dos módulos fotovoltaicos — que são o conjunto de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas — comerciais aumentou de cerca de 12% para 17%, alcançando 26,7% em estudos realizados em laboratório (PHOTOVOLTAICS REPORT, 2020, p. 7).

Com a variedade de materiais semicondutores, as tecnologias das células solares fotovoltaicas, em geral, podem ser classificadas em três categorias: primeira, segunda e terceira geração (Figura 8). As células de primeira geração dizem respeito à tecnologia que utiliza lâminas de silício cristalino (c-Si), como o silício monocristalino (m-Si) e o policristalino (p-Si). A segunda geração refere-se à tecnologia de filmes finos de silício ou outros materiais, depositados sobre substratos flexíveis ou rígidos. Alguns exemplos dessa tecnologia são o silício amorfo hidrogenado (a-Si), o telureto de cádmio (CdTe), o disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e o arsenieto de gálio (GaAs). As células fotovoltaicas híbridas, orgânicas e de corante compõem a terceira geração (TIEPOLO, 2015, p. 74).

Figura 8 - Diagrama com as principais tecnologias de células fotovoltaicas atuais



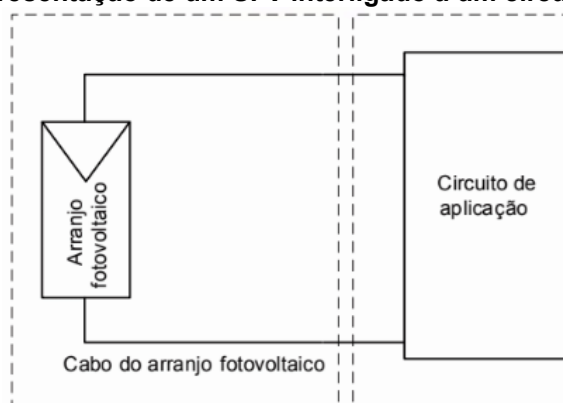
Fonte: Adaptado de BÜHLER et al. (2018)

A maior eficiência e a fácil disponibilidade de células de silício cristalino (m-Si e p-Si), de acordo com Kuman et al. (2017, p. 556), tornaram sua manufatura dominante até o momento, em comparação com outras tecnologias fotovoltaicas. Cerca de 95% da produção atual utiliza a tecnologia com lâminas de silício cristalino, o que evidencia a grande predileção dos fabricantes pelas células de primeira geração (EUROPEAN COMMISSION, 2019, p. 8).

2.3.1 Sistema Fotovoltaico

Segundo a NBR 16690:2019 “Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto”, um sistema fotovoltaico (SFV) é composto por um conjunto de módulos fotovoltaicos que se encontram mecânica e eletricamente integrados. Esse conjunto é denominado de arranjo fotovoltaico e tem como objetivo fornecer a energia fotovoltaica para um determinado circuito de aplicação (Figura 9).

Figura 9 - Representação de um SFV interligado a um circuito de aplicação



Fonte: ABNT NBR 16690 (2018)

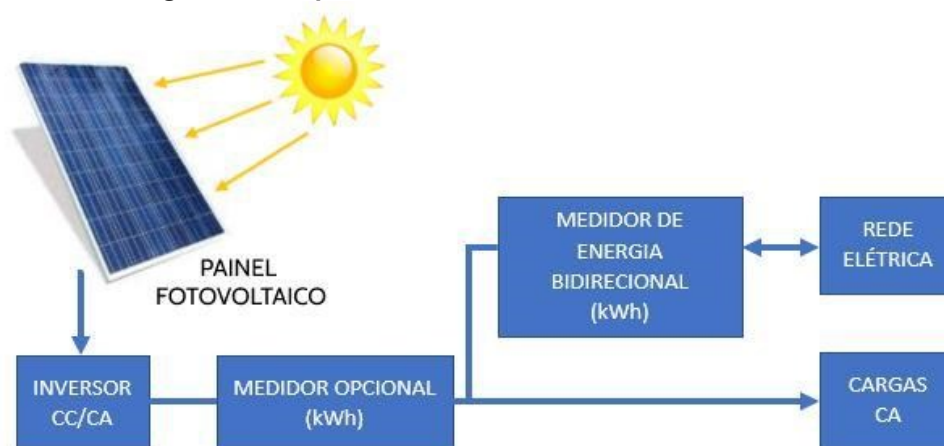
Um SFV pode ser classificado quanto à conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica, apresentando-se de forma isolada ou conectado à rede. Os Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFVI) são assim denominados por não possuírem interligação com a rede elétrica de distribuição e a energia gerada é armazenada através da utilização de um banco de baterias. Esse tipo de sistema é normalmente instalado em locais remotos e/ou com restrições ambientais, onde muitas vezes não há acesso à rede elétrica pública, tornando-se uma opção mais prática e econômica para o fornecimento de energia.

O foco de estudo deste trabalho é relacionado aos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), cujo sistema encontra-se interligado com a rede pública de fornecimento de energia elétrica. Essa geração fotovoltaica pode ser de mini e microgeração distribuída, para atender a demanda de edificações e pequenas comunidades, ou caracterizar-se por grandes usinas solares (geração centralizada), geralmente instaladas em locais distantes do circuito de aplicação, devido a necessidade de ocupação de grandes áreas.

2.3.2 Elementos do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Um SFVCR é composto, basicamente, pelo painel fotovoltaico (FV) e pelo inversor, além das estruturas de fixação, cabos e dispositivos de proteção. Caracteriza-se por não possuir elementos para armazenar a energia elétrica, como no caso dos SFVI, visto que durante os momentos nos quais não existe geração de energia elétrica proveniente dos painéis FVs, o sistema utiliza a rede da concessionária como fonte de energia. Ou seja, analogamente, a rede de energia elétrica exerce a função de uma bateria, pois durante o dia o SFVCR fornece energia para rede e durante a noite o circuito de aplicação conectado ao SFVCR consome a energia da rede elétrica pública (TONIN, 2017). Como existe essa alternância entre a utilização da energia proveniente do SFV e da rede da concessionária, se faz necessário a utilização de um dispositivo chamado medidor bidirecional que pode medir a energia consumida de rede e também a injetada.

Figura 10 - Representação de um SFVCR convencional

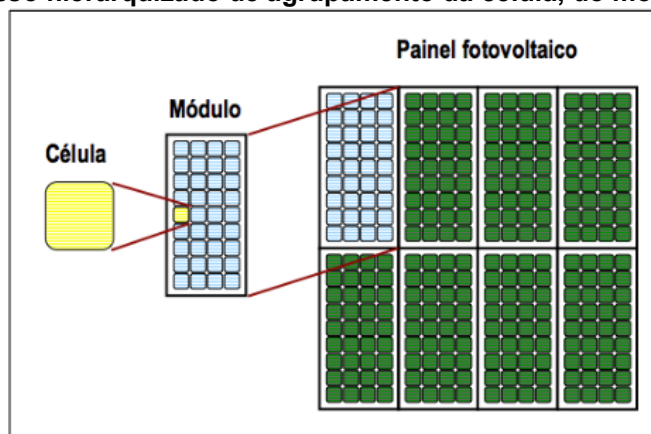


Fonte: Adaptado de TIEPOLO (2015)

Toda a energia gerada pelos painéis FVs é utilizada nesse tipo de sistema, isto é, toda a energia elétrica disponibilizada é injetada na rede elétrica, o que representa uma elevada produtividade em comparação ao SFVI. Outra vantagem é a ausência de baterias, que são equipamentos que possuem um custo elevado, baixa vida útil e maior periodicidade de manutenção (URBANETZ JUNIOR, 2010).

O painel FV é formado por um ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente, formando uma única estrutura. Os módulos FVs, por sua vez, são constituídos por um conjunto de células FVs, também interligadas eletricamente em arranjos série/paralelo e encapsuladas (Figura 11).

Figura 11 - Processo hierarquizado de agrupamento da célula, do módulo e do painel FV

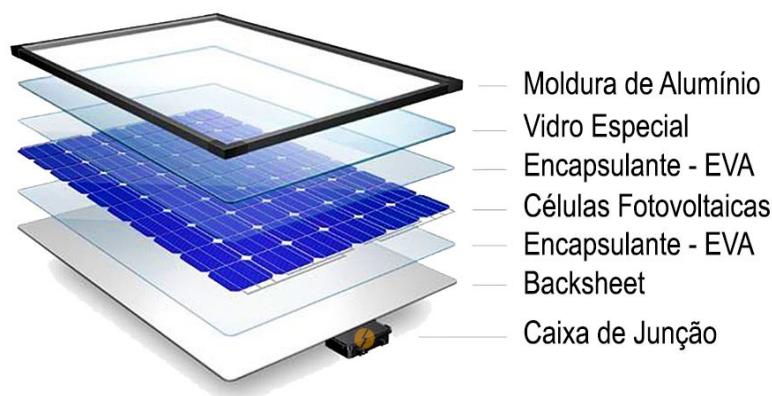


Fonte: CARNEIRO, 2010

Existem aspectos estruturais importantes que garantem o funcionamento adequado do módulo FV. A Figura 12 apresenta o detalhamento de um módulo fotovoltaico. A moldura é confeccionada geralmente de alumínio, com o intuito de preservar a integridade e conferir rigidez ao módulo. O vidro especial, desenvolvido para ser resistente e refletir menos, permite que o máximo de radiação solar atravesse-o. O filme encapsulante, conhecido como EVA (Etileno Acetato de Vinila, do inglês *Ethylene-Vinyl Acetate*), protege as células FVs contra o envelhecimento causado pelos raios UV, temperaturas extremas e umidade, assegurando que o máximo de radiação solar atinja as células. O *backsheet* é um filme branco que fica na parte de trás do módulo e que atua como um isolante elétrico, protegendo os componentes internos do módulo, especificamente as células FVs. A caixa de junção

é onde encontram-se os terminais positivo e negativo do módulo FV, os quais permitem a saída da corrente contínua gerada pelas células FV, e os diodos de *bypass*, responsáveis por proteger o módulo contra correntes reversas (PORTAL SOLAR, 2018).

Figura 12 - Materiais utilizados na fabricação do módulo fotovoltaico



Fonte: Portal Solar, 2018

Os *datasheets* dos painéis FVs fornecem informações de seu desempenho, que são determinadas pelos fabricantes em laboratório sob condições padrão de referência para ensaio (*Standart Test Conditions* - STC), os quais incluem uma temperatura de célula FV de 25°C, intensidade de radiação de $1.000 \text{ W} \times \text{m}^{-2}$ e em uma massa de ar de 1,5. Essas informações são utilizadas para o cálculo da quantidade de painéis FVs necessários no arranjo FV para fornecer energia para um determinado circuito de aplicação ou carga.

A energia elétrica fornecida pelo arranjo FV, como citado anteriormente, provém da corrente contínua (CC) gerada pelos painéis FVs e, portanto, faz-se necessário a conversão dessa CC em corrente alternada (CA), compatível com a tensão da carga que será alimentada. Além disso, nos SFVCRs, é fundamental que a tensão alternada de saída tenha amplitude, frequência e esteja sincronizada com a tensão da rede (PINHO; GALDINO, 2014).

O equipamento que faz esse ajuste é chamado de inversor e apresenta-se, basicamente, em três tipos, cada qual com a finalidade de atender objetivos distintos. O modelo de inversor chamado de *off-grid* (traduzido do inglês: desconectado da rede) funciona de maneira independente, ou seja, não é conectado à rede elétrica, no qual

o armazenando da energia FV gerada é feito através de um banco de baterias, para ser utilizada quando não houver produção de energia elétrica (em dias chuvosos, nublados ou durante a noite, por exemplo). Utilizado em SFVI, também possui como complemento para sua operação adequada o equipamento chamado de controlador de carga, responsável por preservar a vida útil do banco de baterias, protegendo-o dos efeitos da sobrecarga ou descarga abrupta (PINHO; GALDINO, 2014).

O modelo chamado de *grid tie* (traduzido do inglês: conectado à rede) é o mais comum de ser encontrado, e sua aplicação é em instalações que não utilizam baterias, ou seja, em SFVCRs. Ele é projetado para barrar um fenômeno chamado de ilhamento, desconectando automaticamente e com agilidade o inversor da rede elétrica caso ocorra queda de energia, alterações de frequência ou mudança de fase. Se não houvesse essa proteção, o sistema permaneceria energizado, formando uma espécie de “ilha”, ameaçando a segurança de pessoas que possam entrar em contato com o SFV, além de causar possíveis danos aos equipamentos e ao sistema como um todo (TAKAMI, 2014).

Dessa forma, para a elaboração do projeto de um SFV, deve-se realizar uma análise financeira e pontuar os benefícios que cada tipo de equipamento oferece e, assim, escolher o que melhor atende a demanda em questão, levando em consideração o custo-benefício e não apenas o preço dos equipamentos.

2.4 Expansão da Energia Solar Fotovoltaica

A necessidade de diversificação das fontes de geração de energia elétrica em escala mundial fez com que entidades se mobilizassem para garantir que o futuro da segurança e da sustentabilidade energética seja uma missão promovida globalmente. Nesse contexto, a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency - IEA*) criou o Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica (*IEA Photovoltaic Power Systems Programme - IEA PVPS*) em 1993, com o intuito de aumentar os esforços de colaboração internacional que facilitem o papel da energia solar fotovoltaica como pilar na transição para sistemas de energia sustentável. O programa possui 27 países membros, entre outras instituições, e visa estabelecer um panorama a ser seguido pelo Brasil e América Latina (IEA, 2020).

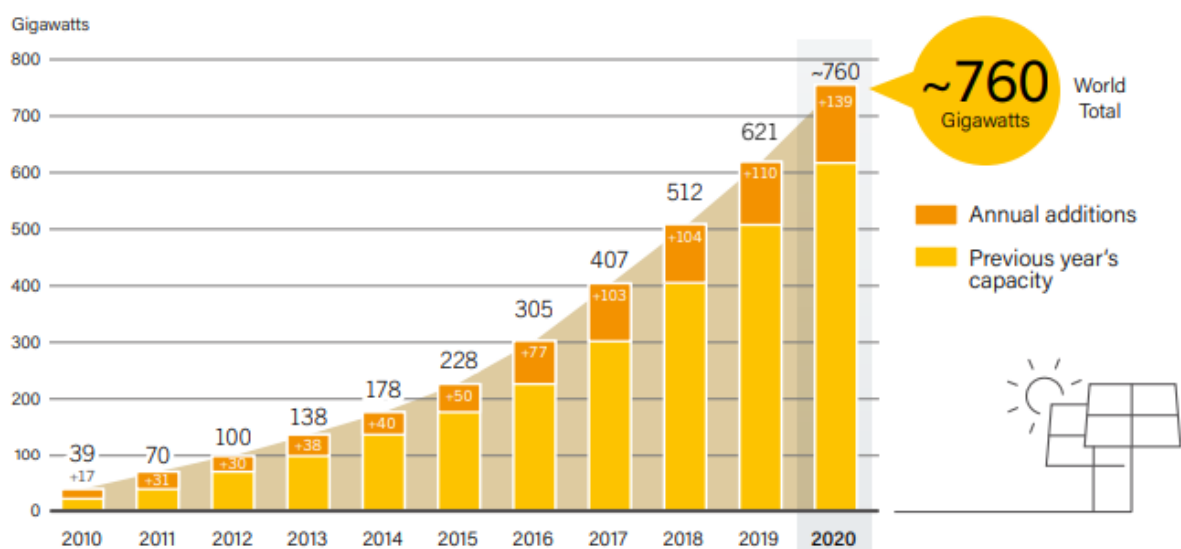
Em relação às previsões futuras para a energia solar FV no mundo, o Brasil é o país com grande potencial para esse tipo de geração devido à sua localização geográfica em relação à linha do Equador e sua vasta área territorial disponível. Essa vantagem geográfica já se reflete no mercado FV brasileiro, onde o mês de março de 2021 apresentou um recorde de importações, tanto de módulos fotovoltaicos quanto de inversores, o que reforça o crescimento dos SFVs no país. O volume importado de módulos FVs em março de 2021 atingiu 958 MWp, totalizando 2.312 MWp no 1º trimestre de 2021, representando um crescimento de 47% em relação ao mesmo período em 2020. O volume importado de inversores atingiu 1.115 MW, contribuindo para fechar o 1º trimestre de 2021 com 2.510 MW, volume 95% superior ao mesmo período em 2020 (GRENNER, 2021).

2.4.1 Capacidade Fotovoltaica Instalada no Mundo e no Brasil

Cerca de 139 GW de potência instalada de SFVs foi adicionada na matriz elétrica global em 2020, consolidando o status da energia FV como líder em nova capacidade de geração de eletricidade. Durante o ano de 2020, 54% da capacidade adicionada de energia renovável veio de SFVs, seguido pela energia eólica (cerca de 93 GW - 36%) e energia hidrelétrica (cerca de 20 GW - 8%). Os 2% restantes vieram da bioenergia, energia geotérmica, concentradores solares e energia dos oceanos (REN21, 2021).

A Figura 13 mostra o crescimento da energia solar FV no mundo nos últimos 10 anos, no qual o total global de 760 GW, que inclui a capacidade instalada de SFVCRs e SFVIs, é comparado com o total de 39 GW em 2010 (REN21, 2021).

Figura 13 - Capacidade global solar fotovoltaica e adições anuais, 2010-2020

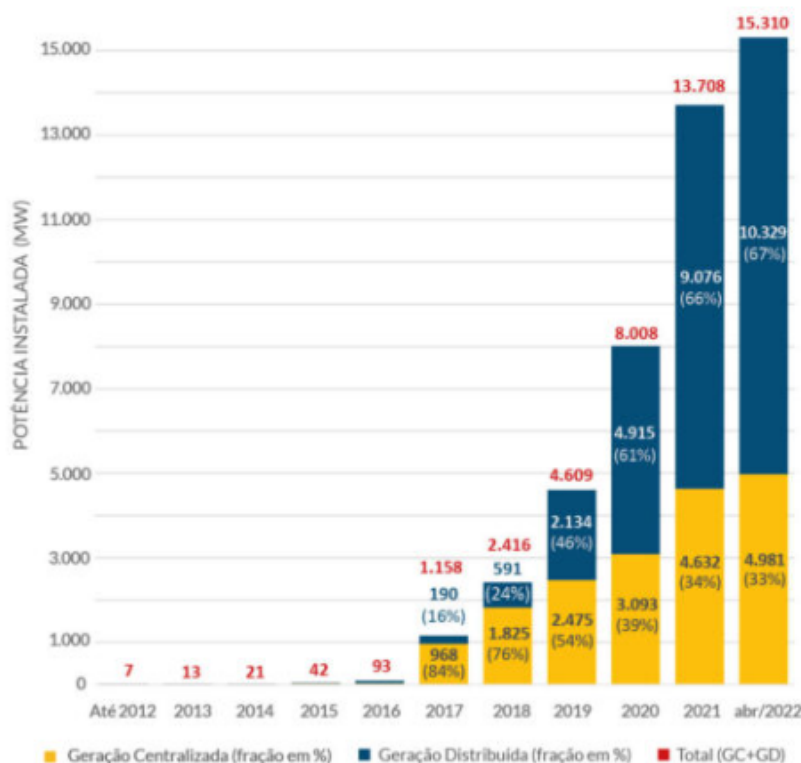


Fonte: REN21, 2021

O Brasil adicionou mais de 5,7 GW em 2021 e encerrou o ano com cerca de 13,71 GW de potência fotovoltaica instalada. Além disso, as fontes de energia fotovoltaica atingiram novos recordes de geração de energia no Sistema Interligado Nacional (SNI), apresentando cerca de 7,6% da oferta de energia elétrica no Brasil em abril de 2022 (ABSOLAR, 2022).

O segmento de geração distribuída fotovoltaica no Brasil, com capacidade instalada de cerca de 10,33 GW até abril de 2022, vem crescendo mais rapidamente comparado com geração centralizada FV em termos de capacidade adicionada (Figura 14), impulsionando os investimentos e a geração de empregos nesse setor. O segmento é liderado por sistemas residenciais, mas também há uma crescente participação de sistemas comerciais e rurais (ABSOLAR, 2022).

Figura 14 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil



Fonte: ABSOLAR (2022)

2.4.2 Crescimento da Energia Solar Fotovoltaica no Paraná

O estado do Paraná sofreu em 2020 a maior crise hídrica dos últimos 100 anos e a escassez de água impacta diretamente na oferta de energia elétrica advinda de usinas hidrelétricas. Portanto, diversificar a matriz elétrica é fundamental para garantir a distribuição de energia elétrica para a população. Nesse contexto, o governo do Paraná junto com a Copel anunciou investimentos de R\$ 45,7 milhões para instalação de SFV em 246 prédios públicos, a partir de 2021, incluindo escolas e outras instalações públicas em sete municípios do estado (AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ, 2020).

O Paraná está entre os cinco estados brasileiros com maior potência instalada de energia solar FV na GD. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), o estado possui 514,8 megawatts (MW) em operação, o que coloca o Paraná na quinta posição do ranking nacional da ABSOLAR. Segundo a entidade, o território paranaense responde sozinho por 5% de todo o parque brasileiro de energia solar distribuída. (ABSOLAR, 2022).

2.5 Regulamentação da Geração Distribuída no Brasil

A Resolução Normativa 482/2012 (REN 482) foi primordial para a micro e mini GD no Brasil, proporcionando a possibilidade da utilização de SFVCRs (como também outras modalidades de fontes renováveis, como energia hidráulica, eólica, biomassa ou cogeração qualificada) pelo consumidor brasileiro na geração da sua própria energia elétrica, bem como de fornecer o excedente da energia gerada para a rede de distribuição de sua localidade – a título de empréstimo gratuito – para posterior consumo mediante sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

De acordo com a resolução, esse desconto é de um para um: os créditos da energia gerada pelo consumidor compensam todos os componentes tarifários que incluem gastos com a infraestrutura de rede de distribuição. Porém, a ANEEL solicitou a revisão da REN 482 e no dia 19 de fevereiro 2021 apresentou o primeiro rascunho de sua nova proposta para o Sistema de Compensação de Créditos de Energia (SCEE). A agência alega, desde 2018, que o atual SCEE não possibilita a adequada remuneração pelo uso da rede de distribuição, transferindo custos aos demais usuários que não optaram por instalar geração própria (ANEEL, 2018).

2.5.1 Resolução Normativa 687

Em novembro de 2015, a REN 482 teve seu texto atualizado por meio da Resolução Normativa 687, reduzindo o processo burocrático para a implantação das centrais geradoras junto às concessionárias de energia elétrica. Além disso, houve um aumento de 36 para 60 meses no prazo para uso dos créditos energia gerados, e diminuição de 82 para 34 dias no período para a aprovação do SFV junto à concessionária. Outra alteração foi na definição da potência limite para micro e minigeração distribuída, ficando definido:

- Microgeração: sistema gerador de energia elétrica através de fontes renováveis, com potência instalada inferior ou igual a 75 kW;

- Minigeração: sistema gerador de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW (para fonte hídrica) e menor ou igual a 5 MW para as demais fontes renováveis (solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada).

Além disso, novas modalidades de GD foram adicionadas pela REN 687, dando abertura a novos grupos de consumidores e novas possibilidades de negócios, sendo elas:

- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (EMUC): corresponde às unidades consumidoras que se situam em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, porém utilizam a energia elétrica de forma independente, ou seja, a conexão com a distribuidora é a mesma, porém o consumo é medido separadamente. “Cada fração com uso individualizado constitui uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento” (REN 687, 2015);

- Geração compartilhada: modalidade que permite a reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica. Nessa modalidade, a microgeração ou minigeração distribuída encontra-se instalada em um local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;

- Autoconsumo remoto: permite que uma unidade consumidora (com titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física) realize uma instalação de microgeração ou minigeração distribuída em um local diferente do local onde a unidade consumidora está fisicamente situada, sob a condição de estar dentro da mesma área de concessão ou permissão da qual a energia excedente será compensada.

A Figura 15 mostra onde deve estar localizada a instalação de GD, a titularidade da unidade consumidora e como deve ser o registro, de acordo com cada tipo de modalidade de GD.

Figura 15 - Modalidades de Geração Distribuída e seus respectivos requisitos

Modalidades	Localização	Titularidade	Registro
Autoconsumo	Junto à carga ou remota	Mesmo titular (incluindo matriz e filiais de uma mesma pessoa jurídica).	Não aplicável.
Geração compartilhada	Junto à carga ou remota	Pluralidade de titulares, organizados via Consórcio (apenas pessoas jurídicas) ou Cooperativa (pessoas físicas e jurídicas).	Os atos de constituição e alteração do Consórcio e da Cooperativa precisam ser registrados perante a Junta Comercial do Estado em que se localizam.
EMUC	Junto à carga ou área contígua	Pluralidade de titulares (pessoas físicas e jurídicas), organizados por meio de condomínio edilício.	Registro apenas da sua constituição perante o Cartório de Registro de Imóveis (para a deliberação de contratação de usina não requer registro específico).

Fonte: ABGD (2019)

Outro ponto abordado na atualização da REN 482 é a proibição da concessão do acesso à rede por parte da concessionária local caso seja constatado que o consumidor que possui um micro ou mini gerador instalado em sua unidade esteja vendendo seus créditos energéticos a outrem, como vizinhos, por exemplo. No caso de geração remota em área locada, não deve ser caracterizada uma relação de cobrança de mensalidade em proporção a energia gerada (ANEEL, 2015). Ou seja, todas as formas de GD contemplam a geração de energia elétrica para consumo próprio, não podendo fazer parte do SCEE o consumidor que tiver locado imóvel para instalar o micro ou mini gerador quando o pagamento do aluguel se der em reais por unidade de energia elétrica (R\$/kWh).

2.5.2 Marco Legal da Geração Distribuída

O PL nº 5.829 foi aprovado pela Câmara dos Deputados. O texto foi aprovado pelo Senado Federal e sancionado pelo Presidente da República no dia 06 de janeiro de 2022, transformando-se na Lei número 14.300.

Desde que o PL foi proposto, no ano de 2019, algumas alterações no seu texto foram realizadas. Uma das mudanças importantes foi em relação à demanda contratada, no qual atualmente uma instalação de minigeração distribuída, que não possui carga conectada, paga a demanda contratada como se fosse um consumidor. Ou seja, paga uma TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) de Consumo. O PL atual determina que tais instalações passem a pagar a TUSD de Geração, o que evidencia uma oportunidade de redução do custo fixo das instalações fotovoltaicas remotas, uma vez que a TUSD de Geração chega a ser entre 30% a 70% mais barata que a TUSD de Consumo (BRASÍLIA, 2021).

Outro aspecto importante definido no PL é em relação ao direito adquirido, que diz que todos os consumidores que já gerarem a sua própria energia antes da publicação do projeto na forma de lei ou protocolarem a solicitação de acesso até 12 meses após sua publicação, irão manter as regras atuais de compensação dos créditos de energia até 21/12/2045. Já em relação à perda do direito adquirido, de acordo com a PL, ocorre em três casos: quando há o encerramento da unidade consumidora (que não é igual a troca de titularidade, o qual não ocasiona a perda do direito adquirido); quando for constatado alguma irregularidade no sistema de medição que seja atribuível ao consumidor; quando há ampliação do sistema, sendo apenas a parte ampliada taxada com as novas regras de valoração dos créditos de energia.

Ainda, segundo o PL nº 5.829, em até 18 meses após a publicação da lei deverá ser divulgado o cálculo de todos os benefícios e custos da geração própria de energia. O resultado desse cálculo vai orientar a forma como serão valorados os créditos de energia após o período de transição. Em até 6 meses após a publicação da lei, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) deverá publicar as diretrizes que serão seguidas e, a partir de tais diretrizes, a ANEEL fará o cálculo, ouvindo a sociedade civil e todos os interessados, sendo essencial que esse processo seja participativo.

Para os consumidores que protocolarem a solicitação de acesso após os 12 meses da publicação da lei e que forem consumidores com geração junto à carga, EMUC, geração compartilhada, autoconsumo remoto com até 500 kW e de formas despacháveis irão remunerar a rede gradativamente e de forma escalonada pela tarifa do Fio B (componente tarifária que remunera as distribuidoras de energia).

2.6 Viabilidade Econômica

Segundo Frezatti (2008), existem diversas definições de projetos. Entretanto, para uma análise de viabilidade econômica, três características são fundamentais: ser um empreendimento; possuir começo, meio e fim; e ser dirigido por pessoas. Com esses pilares podemos entender algumas características fundamentais de um projeto, como sua finitude, sua dependência do fator humano e todas as adversidades que esse fator pode trazer.

Ainda segundo Frezatti (2008), um projeto deve ter um objetivo bem definido, ser estruturado gerencialmente, com equipe e liderança bem estabelecidas, bem como estruturado funcionalmente, possuindo um escopo bem definido. Além disso, o projeto precisa possuir um controle, sendo pautado no custo, tempo e qualidade.

2.6.1 Custo Médio Ponderado de Capital

O Custo Médio Ponderado de Capital (CMPC), também conhecido como WACC (*Weighted Average Cost of Capital*), representa o retorno mínimo esperado pelos detentores de capital de uma determinada empresa. Para estabelecer esse valor, é necessário levar em conta qual a participação do capital de terceiros e do capital próprio e seus respectivos custos de capital. O custo de capital próprio é o valor que os sócios e acionistas esperam receber pela empresa. À medida que uma empresa adquire capitais de terceiros, os juros desse capital são incorporados ao valor esperado de retorno para formar o CMPC. É importante notar que conforme uma empresa contrai capital de terceiros, o valor do CMPC tende a aumentar, uma vez que os credores aumentam os custos dos empréstimos para empresas endividadas, haja vista que o risco para tal empréstimo é elevado. Em contrapartida, há um benefício fiscal concedido pelo governo sobre o valor de capital de terceiros, pois é possível deduzir as despesas com juros do valor do imposto de renda e contribuição social sobre o lucro (CRUZ et al., 2013).

O cálculo do CMPC pode ser feito utilizando a equação (1):

$$CMPC = \frac{E}{V} \times R_e + \frac{D}{V} \times R_d \times (1 - T_c) \quad (1)$$

Onde:

R_e = custo de capital;

R_d = custo da dívida;

E = valor de mercado do patrimônio da empresa;

D = valor de mercado da dívida da empresa;

V = E + D = valor total de mercado do financiamento da empresa;

E/V = porcentagem de financiamento que é patrimônio;

D/V = porcentagem de financiamento que é dívida;

T_c = taxa de imposto corporativo.

2.6.2 Taxa Mínima de Atratividade

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é o menor valor de retorno do investimento para o qual um determinado projeto torna-se viável. O cálculo da TMA depende de múltiplas variáveis, e nem sempre é possível alcançar um valor exato para ela. O primeiro ponto é quanto do capital da empresa será empregado no projeto, caso seja custeado exclusivamente pelo capital da empresa, e possuir o mesmo tipo de risco que a atividade fim da empresa, a TMA passa a ser a própria CMPC. Para projetos que possuam financiamento, a TMA passa a ser uma média ponderada entre o capital financiado e o capital da empresa. Caso a aplicação possua um risco diferente do risco da empresa, um ágio correspondente ao prêmio pelo risco deve ser adicionado na fórmula. Esse ágio pode depender de diversos fatores, e geralmente é estimado pela equipe econômica da empresa. A fórmula completa para a TMA pode ser vista na Equação (2) (BRUNI, 2013).

$$TMA = \text{capital da empresa} \times CMPC + \text{capital financiado} \times \text{juros} + \text{prêmio pelo risco} \quad (2)$$

Onde o capital da empresa e capital financiado devem ser expressos em porcentagem alocada no projeto. No caso de uma compra totalmente a TMA, será os juros do financiamento mais o prêmio pelo risco, que no caso deste estudo será a taxa SELIC.

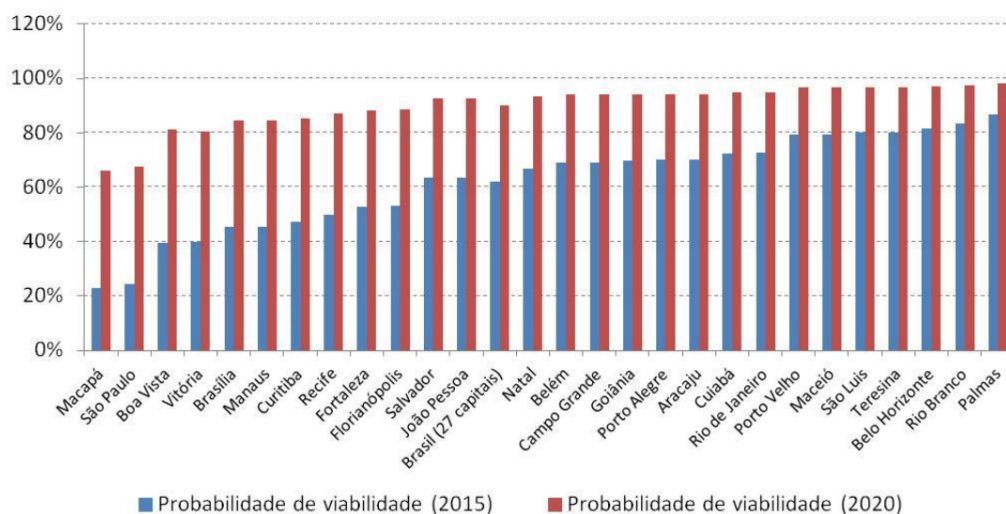
2.6.3 Métricas de Viabilidade

O Valor Presente Líquido (VPL) é o somatório dos fluxos de caixa futuros, descontados a uma determinada taxa, e subtraído do investimento inicial. Caso o VPL de um projeto seja positivo, significa que o mesmo é viável, ao passo que se der negativo, indica inviabilidade. Para o cálculo do VPL é comum utilizar a TMA, fornecendo assim um cenário de viabilidade ajustado à realidade do projeto. O VPL mensura em valores presentes a rentabilidade nominal do investimento, não sendo capaz de indicar proporções entre investimento inicial e retorno.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) possui um cálculo muito semelhante ao VPL, sendo o valor para qual o VPL se iguala a zero. A TIR pode ser interpretada como a taxa de retorno que determinado capital teria rentabilidade, dado o fluxo de caixa considerado. Para o estudo de sistemas fotovoltaicos, o fluxo de caixa será considerado como a economia anual de energia.

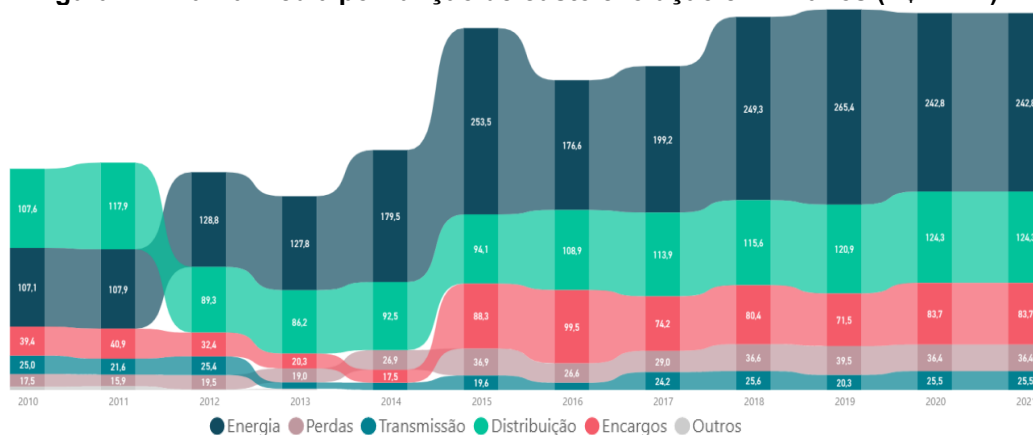
2.6.4 Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil

Nakabayashi (2014) avaliou a viabilidade de sistemas fotovoltaicos em todas as 27 capitais brasileiras, analisando diversos fatores, como: queda do custo da tecnologia, previsões para tarifa de energia, energia gerada, quantidade de autoconsumo, taxa de desconto e taxa de câmbio utilizando o Método de Monte Carlo e sistema de referência de 1,5 kWp. O estudo demonstrou que a probabilidade de viabilidade de um projeto fotovoltaico era de 60% para 2015, aumentando para 90% em 2020. Foi possível avaliar também que mesmo para os piores casos em 2020, esses ainda obtiveram uma probabilidade de viabilidade melhor do que a média das 27 capitais em 2015. O trabalho não considerou o aumento da eficiência dos painéis, tornando a análise conservadora. A Figura 16 mostra a probabilidade de viabilidade em cada capital.

Figura 16 - Probabilidade de viabilidade econômica nas capitais brasileiras

Fonte: NAKABAYASHI (2014, p. 74)

Um dos principais fatores que afetam a probabilidade da viabilidade do projeto fotovoltaico é a tarifa de energia obter um aumento acima da inflação (NAKABAYASHI, 2014). A Figura 17 mostra o histórico de aumento da tarifa de energia elétrica da Copel. Com essas informações pode-se calcular um reajuste acumulado de 126,7% entre os anos de 2010 e 2021, enquanto o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) acumulado, principal índice de inflação, foi de 88,7% até o ano de 2021 (IBGE, 2021). O aumento médio foi de 7,7%, valor 1,8% acima do IPCA que registrou valor médio de 5,9%. Com isso, tem-se ótimos indícios de que a viabilidade econômica dos projetos fotovoltaicos possui grandes chances de acontecer, causando um impacto positivo na TIR dos mesmos.

Figura 17 - Tarifa média por função de custo evolução em 11 anos (R\$/MWh)

Fonte: ANEEL (2021)

2.6.5 Simulação de Implementação do Projeto

Para o condomínio residencial abordado no trabalho, será analisada a viabilidade técnica e econômica da instalação da GD, levantando em consideração os custos de implantação, eficiência dos módulos fotovoltaicos, zonas de sombreamento e perspectivas de consumo para o futuro. O consumo da unidade condominial responsável pelas áreas comuns do edifício conduzirá o dimensionamento do sistema, assim como os condômino. As hipóteses sobre a instalação do SFVCR serão avaliadas tendo como base dois terrenos alugados, um em Curitiba e outro em Cascavel, para instalação do SFV. A simulação de implementação do projeto a partir dos cenários estudados possibilitará a avaliação da TIR que será comparada com a taxa de investimento de renda fixa vigente no ano de 2022.

3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, são necessárias informações a respeito da irradiação média do local, potência dos módulos e o consumo a ser dimensionado. A seguir essas informações são detalhadas, assim como os custos de aquisição e as análises financeiras.

3.1 Consumo do Condomínio

O condomínio analisado possui 1 torre com 42 apartamentos. Seu consumo de energia varia de acordo com os meses, sendo caracterizado pela iluminação das áreas comuns e bombas hidráulicas. A Tabela 1 apresenta o consumo anual do condomínio e o estimado para os apartamentos com base em 1 apartamento de exemplo multiplicado pela quantidade de unidades. O condomínio e as unidades são consumidores tipo B.

Tabela 1 - Consumo condomínio no ano de 2021

Mês	Consumo Condomínio [kWh]	Consumo Apartamentos [kWh]
Janeiro	487	6699
Fevereiro	446	16128
Março	374	15645
Abril	464	14679
Maio	438	20307
Junho	433	16632
Julho	413	11067
Agosto	401	7644
Setembro	302	6090
Outubro	377	5019
Novembro	395	5040
Dezembro	467	5859
Anual	4997	130809

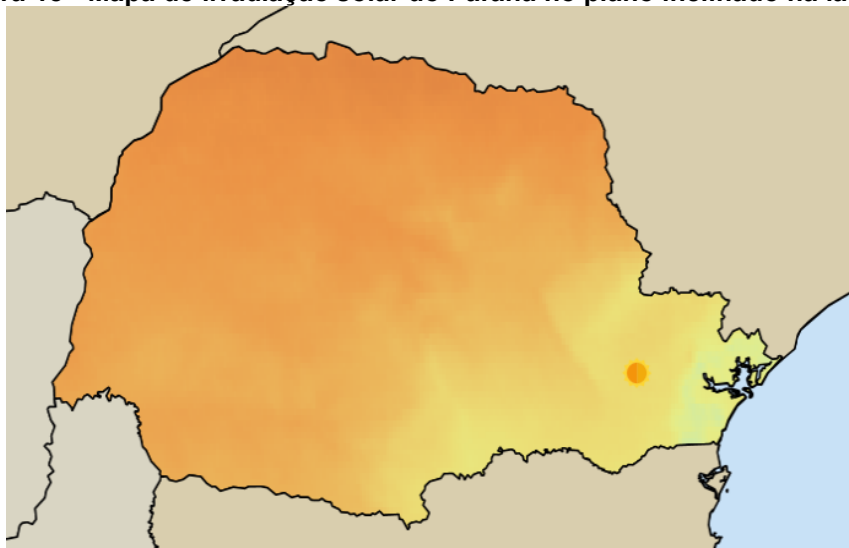
Fonte: Autores (2022)

Com isso, estima-se o consumo anual de 135.806 kWh.

3.2 Consulta de Dados de Irradiação

Com o consumo anual estimado, é necessário obter a irradiação solar nas cidades de instalação, na Figura 18 pode-se ver o mapa do Paraná com a cidade de Curitiba marcada. Para o estudo será analisado um terreno na cidade do edifício e outro no oeste do estado, onde a irradiação é maior.

Figura 18 - Mapa de irradiação solar do Paraná no plano inclinado na latitude



Fonte: Tiepolo et. al. (2017b)

Após marcar o local desejado, o mapa informa as irradiações no plano inclinado na latitude médias mensais e anual, além de informar a produtividade, valor de energia elétrica produzido por cada 1 kWp instalado. A tabela 2 mostra os valores de produtividade.

Tabela 2 - Produtividade nas cidades avaliadas

Mês	Produtividade [kWh/kWp.dia]	
	Curitiba	Cascavel
Janeiro	3,62	4,17
Fevereiro	3,7	3,96
Março	3,57	4,01
Abril	3,29	3,76
Maio	2,88	3,2
Junho	2,73	2,99
Julho	2,82	3,13

Mês	Produtividade [kWh/kWp.dia]	
	Curitiba	Cascavel
Agosto	3,54	3,87
Setembro	3,11	3,58
Outubro	3,21	3,82
Novembro	3,6	4,08
Dezembro	3,68	3,16
Total Anual	1208	1361

Fonte: Tiepolo et. al. (2017b)

Com os dados de produtividade será possível dimensionar o sistema necessário para cada cenário.

3.3 Dimensionamento do Sistema

Para o estudo, será considerado o módulo da marca Canadian, modelo CS6W-550MB-AG. A Tabela 3 mostra os dados elétricos do módulo, os dados são para uma irradiação de 1000 W/m² e temperatura de 25°C.

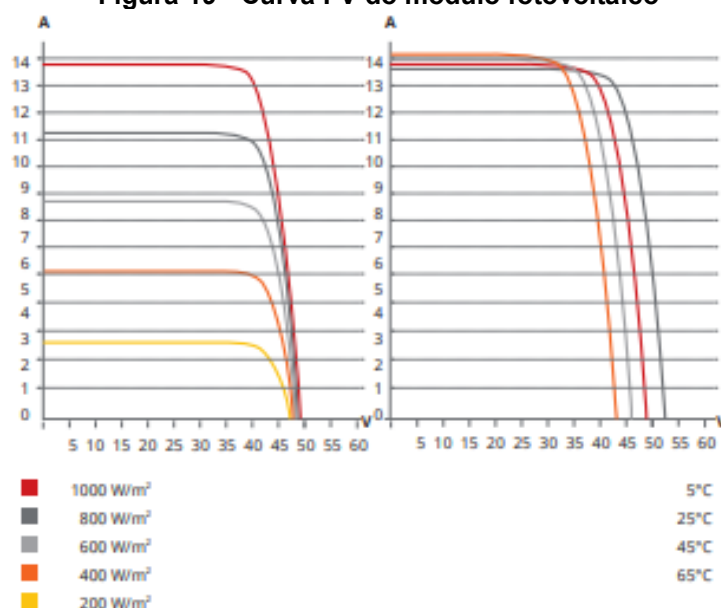
Tabela 3 - Dados elétricos do módulo fotovoltaico

Potência nominal	660W
Tensão de operação	41,7 V
Corrente de operação	15,84 A
Tensão de curto circuito	49,6 V
Corrente de curto circuito	16,8 A
Eficiência	25,7%
Temperatura de operação	-40°C a 80°C
Tensão máxima suportada	1500V

Fonte: Canadian (2022)

Os dados são estáticos, em valores de referência. Para entender o comportamento dos módulos podemos avaliar as curvas I-V variando a temperatura do módulo e a irradiação média. A Figura 19 mostra a relação.

Figura 19 - Curva I-V do módulo fotovoltaico



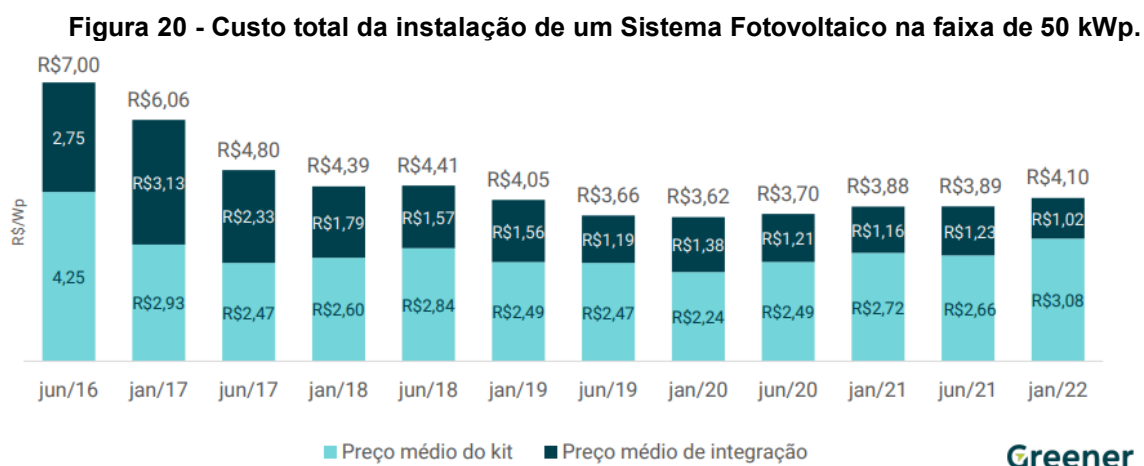
Fonte: Canadian (2022)

Com isso é possível perceber que a corrente varia de acordo com a irradiância, tendo uma pequena variação na tensão, enquanto o efeito térmico é responsável por gerar uma queda de tensão nas placas, com uma pequena interferência na corrente. Com os dados extraídos dos capítulos anteriores, subtraímos o consumo de 135.806 kWh pelo custo de disponibilidade de 43 unidades consumidoras multiplicadas por 50 kWh por unidade, totalizando 25.800 kWh anuais. Divide-se valor a ser descontado de 110.006 kWh pela produtividade de 1.208 kWh/kWp e obteve-se a potência mínima do sistema de 91,60 kWp para cidade de Curitiba. Considerando a potência de 660 W por módulo, serão necessários 139 módulos, totalizando 91,74 kWp de potência instalada. Para a cidade de Cascavel, a produtividade é de 1.361 kWh/kWp, tendo assim uma potência mínima de 80,83 kWp, resultando em 123 módulos e potência total do sistema de 81,18 kWp.

3.4 Levantamento dos Custos

3.4.1 Custo do Sistema

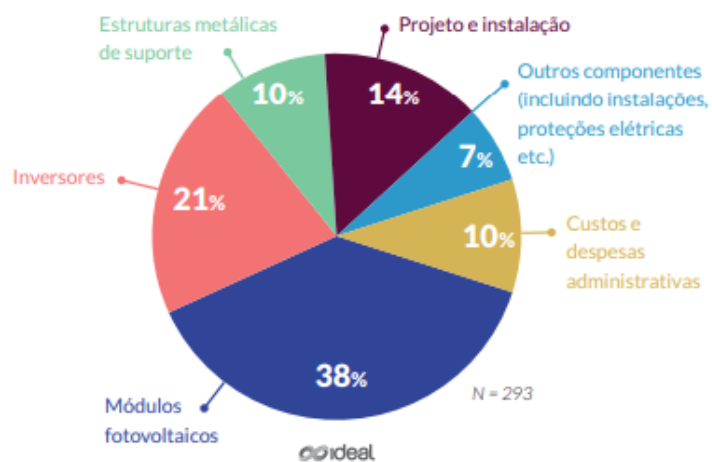
Os custos de implantação do sistema envolvem todos os elementos para sua execução, como material de fixação, mão de obra envolvida na instalação e projeto. O instituto Greener fez um levantamento com inúmeras empresas para avaliar o custo dos sistemas por kWp instalado. Para sistemas maiores que 50 kWp, foram avaliadas 196 empresas, chegando ao custo médio de R\$ 4,10 por *watt* instalado. O custo total estimado para o sistema é de R\$ 376.134,00 para a cidade de Curitiba e R\$ 332.838,00 para a cidade de Cascavel. A Figura 20 mostra os valores em gráfico.



Outro custo relevante a ser analisado é o do inversor, uma vez que ele possivelmente precisará ser trocado. Em seu site a SolarEdge (2022) oferece garantia estendida de até 25 anos. Para este estudo será considerado 15 anos. Para estimar o custo do inversor foi avaliado a composição de custos do sistema fotovoltaico, conforme Figura 21. O inversor corresponde a 21% do custo da instalação. O mesmo inversor será utilizado nos 3 sistemas, para a estimativa de preço será utilizado 21% do valor de cada sistema. Além disso, é importante considerar a inflação de preços, para isso o valor do inversor a ser considerado nos cálculos de viabilidade será inflacionado com o mesmo valor do IPCA acumulado nos últimos 15 anos, que equivale a 135,05%, conforme Figura 22. Com isso estima-se que o inversor custará

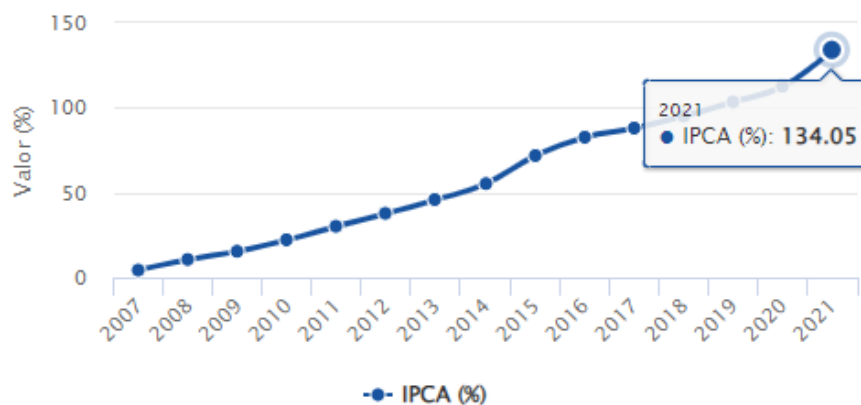
em 2037 R\$ 185.701,12 para o sistema de Curitiba e R\$ 164.325,45 para o sistema de Cascavel.

Figura 21 - Composição do custo total da instalação de um Sistema Fotovoltaico



Fonte: Instituto Ideal (2018).

Figura 22 - IPCA nos últimos 15 anos



Fonte: IBGE (2022)

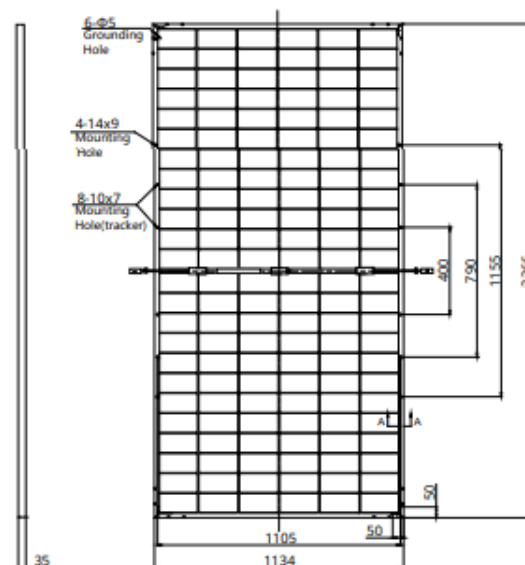
3.4.2 Custos do terreno

Para avaliar o custo dos terrenos é necessário estimar a área do projeto. Cada módulo possui 2,33 m², conforme dimensões vistas na Figura 23, com isso tem-se o total de 323,83 m² módulos em Curitiba e 286,59 m² para Cascavel. Além disso, é necessário um espaçamento entre os conjuntos de módulos, para isso foi desenhado

conjuntos de 30 módulos dispostos em 3 módulos na posição retrato e 10 na posição paisagem, inclinados a 25°, valor da latitude dos locais os módulos restantes serão dispostos em fileira única orientados em retrato.

Para calcular a distância entre os painéis é necessário multiplicar a altura pelo fator de espaçamento, que tem o valor aproximado de 2,5 na latitude de 25° (PINHO; GALDINO, 2014). Com isso temos para os painéis compostos de 30 módulos a altura de 2,87 m e o espaçamento de aproximadamente 7,18 m e para a fileira restante a altura de 0,96 m e o espaçamento mínimo de 2,39m. Para esse último o valor considerado será de 3 m, assim como o corredor central, possibilitando entrada de veículos e equipamentos para a instalação e manutenção. A Figura 24 mostra o *layout* de exemplo para estimar a área mínima necessária, que foi de 631 m² para ambas as cidades. Foram selecionados 2 terrenos para estudo de viabilidade, os detalhes e valores estão na Tabela 4.

Figura 23 – Dimensões do módulo fotovoltaico



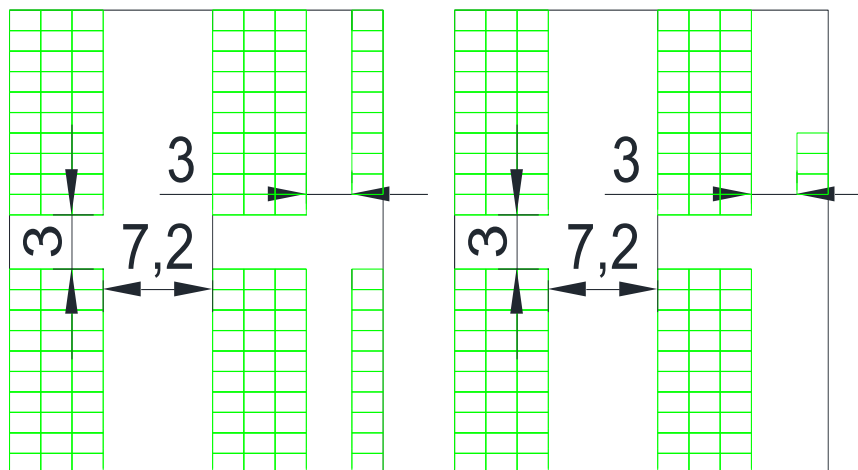
Fonte: Canadian (2022)

Tabela 4 - Terrenos e custos de aluguel

Cidade	Rua	Bairro	Área [m ²]	Aluguel	Custo Anual
Curitiba	Cláudio Chatagnier	Bacacheri	668	R\$ 1.400,00	R\$ 16.800,00
Cascavel	Rua Presidente Kennedy	Centro	660	R\$ 1.000,00	R\$ 12.000,00

Fonte: Viva Real (2022)

Figura 24 – Layout dos módulos fotovoltaicos
Curitiba Cascavel



Fonte: Autores (2022)

3.5 Retorno de Investimento

3.5.1 Payback Simples e Descontado

Para o *payback* simples, basta dividir o custo total do projeto pelo valor anual gasto com energia, subtraídos do custo anual com aluguel de cada terreno. Os valores podem ser vistos na Tabela 5. A tarifa de energia considerada foi de 0,83 R\$/kWh, para os valores de economia anual devemos subtrair o valor do Fio B, valor correspondente aos custos de distribuição que com impostos é de 0,196 R\$/kWh.

Tabela 5 - Payback simples para cada terreno

	Custo anual	Economia anual	Investimento	Payback simples
Curitiba	R\$ 16.800,00	R\$ 52.925,41	R\$ 353.338,00	6,7
Cascavel	R\$ 12.000,00	R\$ 57.725,41	R\$ 312.666,00	5,4

Fonte: Autores (2022)

Para o *payback* descontado é necessário avaliar quanto a fatura de energia irá aumentar, assim como o aumento do aluguel dos terrenos. Para o ajuste da fatura de energia será avaliado os aumentos da Copel disponibilizados no site oficial, cujos valores de reajustes podem ser vistos na Tabela 6, onde a média anual foi de 11,32%.

Para os aluguéis, será utilizada a média do IPCA dos últimos 10 anos conforme obtida no capítulo 2, que é de 5,9% ao ano.

Tabela 6 - Reajustes na tarifa de energia da Copel.

Resolução	Vigência	Reajuste Médio	Acumulado
2886/2021	44369	0,0989	90,29%
2704/2020	44005	0,0041	73,17%
2559/2019	43640	0,0341	72,46%
2402/2018	43275	0,1599	66,77%
2255/2017	42910	0,0585	43,78%
2214/2017	42856	-0,0117	35,84%
2096/2016	42545	-0,1287	37,44%
1897/2015	42179	0,1532	57,75%
1858/2015	42065	0,3679	36,79%

Fonte: Copel (2022)

Com isso é possível montar uma análise de fluxo de caixa e somar os valores economizados para obter os *paybacks* descontados conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Análise de payback descontado

Ano	Economia anual	Aluguel Terreno Curitiba	Aluguel Terreno Cascavel	Saldo Acumulado Curitiba	Saldo acumulado Cascavel
0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	-R\$ 353.338,00	-R\$ 312.666,00
1	R\$ 69.725,41	R\$ 16.800,00	R\$ 12.000,00	-R\$ 300.412,59	-R\$ 254.940,59
2	R\$ 77.618,32	R\$ 17.791,20	R\$ 12.708,00	-R\$ 240.585,47	-R\$ 190.030,27
3	R\$ 86.404,72	R\$ 18.840,88	R\$ 13.457,77	-R\$ 173.021,64	-R\$ 117.083,33
4	R\$ 96.185,73	R\$ 19.952,49	R\$ 14.251,78	-R\$ 96.788,40	-R\$ 35.149,38
5	R\$ 107.073,95	R\$ 21.129,69	R\$ 15.092,64	-R\$ 10.844,14	R\$ 56.831,94
6	R\$ 119.194,72	R\$ 22.376,34	R\$ 15.983,10	R\$ 85.974,24	R\$ 160.043,56
Payback descontado				5,1	4,4

Fonte: Autores (2022)

3.5.2 VPL

Para a análise de VPL é preciso avaliar somente o fluxo de caixa, isto é, o valor de entrada mensal. O valor de entrada será equivalente ao economizado mensalmente, semelhante ao *payback*, esses valores serão somados de acordo com a taxa de desconto do IPCA, obtemos os seguintes valores e VPL conforme Tabela 8:

Tabela 8 - Análise do VPL

Ano	Economia anual	Aluguel Terreno Curitiba	Aluguel Terreno Cascavel	Fluxo de caixa Curitiba	Fluxo de caixa Cascavel
0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	-R\$ 353.338,00	-R\$ 312.666,00
1	R\$ 69.725,41	R\$ 16.800,00	R\$ 12.000,00	R\$ 52.925,41	R\$ 57.725,41
2	R\$ 77.618,32	R\$ 17.791,20	R\$ 12.708,00	R\$ 59.827,12	R\$ 64.910,32
3	R\$ 86.404,72	R\$ 18.840,88	R\$ 13.457,77	R\$ 67.563,83	R\$ 72.946,94
4	R\$ 96.185,73	R\$ 19.952,49	R\$ 14.251,78	R\$ 76.233,24	R\$ 81.933,95
5	R\$ 107.073,95	R\$ 21.129,69	R\$ 15.092,64	R\$ 85.944,26	R\$ 91.981,32
6	R\$ 119.194,72	R\$ 22.376,34	R\$ 15.983,10	R\$ 96.818,38	R\$ 103.211,62
7	R\$ 132.687,57	R\$ 23.696,55	R\$ 16.926,10	R\$ 108.991,02	R\$ 115.761,46
8	R\$ 147.707,80	R\$ 25.094,64	R\$ 17.924,74	R\$ 122.613,16	R\$ 129.783,06
9	R\$ 164.428,32	R\$ 26.575,23	R\$ 18.982,30	R\$ 137.853,10	R\$ 145.446,02
10	R\$ 183.041,61	R\$ 28.143,16	R\$ 20.102,26	R\$ 154.898,45	R\$ 162.939,35
11	R\$ 203.761,92	R\$ 29.803,61	R\$ 21.288,29	R\$ 173.958,31	R\$ 182.473,63
12	R\$ 226.827,77	R\$ 31.562,02	R\$ 22.544,30	R\$ 195.265,75	R\$ 204.283,47
13	R\$ 252.504,67	R\$ 33.424,18	R\$ 23.874,42	R\$ 219.080,49	R\$ 228.630,26
14	R\$ 281.088,20	R\$ 35.396,21	R\$ 25.283,01	R\$ 245.691,99	R\$ 255.805,19
15	R\$ 312.907,39	R\$ 37.484,59	R\$ 26.774,70	R\$ 275.422,80	R\$ 286.132,68
16	R\$ 348.328,50	R\$ 39.696,18	R\$ 28.354,41	R\$ 122.931,21	R\$ 155.648,64
17	R\$ 387.759,29	R\$ 42.038,25	R\$ 30.027,32	R\$ 345.721,04	R\$ 357.731,97
18	R\$ 431.653,64	R\$ 44.518,51	R\$ 31.798,93	R\$ 387.135,13	R\$ 399.854,71

Ano	Economia anual	Aluguel Terreno Curitiba	Aluguel Terreno Cascavel	Fluxo de caixa Curitiba	Fluxo de caixa Cascavel
19	R\$ 480.516,83	R\$ 47.145,10	R\$ 33.675,07	R\$ 433.371,73	R\$ 446.841,76
20	R\$ 534.911,34	R\$ 49.926,66	R\$ 35.661,90	R\$ 484.984,68	R\$ 499.249,44
21	R\$ 595.463,30	R\$ 52.872,33	R\$ 37.765,95	R\$ 542.590,97	R\$ 557.697,35
22	R\$ 662.869,75	R\$ 55.991,80	R\$ 39.994,14	R\$ 606.877,94	R\$ 622.875,60
23	R\$ 737.906,60	R\$ 59.295,32	R\$ 42.353,80	R\$ 678.611,28	R\$ 695.552,80
24	R\$ 821.437,63	R\$ 62.793,74	R\$ 44.852,67	R\$ 758.643,89	R\$ 776.584,96
25	R\$ 914.424,37	R\$ 66.498,57	R\$ 47.498,98	R\$ 847.925,80	R\$ 866.925,39
Valor Presente líquido				R\$ 2.237.830,94	R\$ 2.391.304,91

Fonte: Autores (2022)

O VPL do terreno em Cascavel é 6% maior que o de Curitiba, ambos os valores indicam que os projetos são viáveis, uma vez que são valores positivos. O resultado do VPL representa quanto o total economizado nos 25 anos representa hoje, uma vez que a taxa de desconto utilizada é o IPCA, principal indicador de inflação.

3.5.3 TIR

Para a Taxa Interna de Retorno será necessário analisar o fluxo de caixa dos 25 anos, levando em conta seus valores acumulados. Ela representa o rendimento do investimento feito. A taxa mínima de atratividade considerada será 200% do CDI, equivalente a 6,8%, taxa essa que será utilizada no custo de oportunidade no tópico seguinte. A Tabela 9 mostra o saldo acumulado nos anos do projeto e a TIR para cada terreno. Ambas TIR superaram o valor da renda fixa, sendo 26% para o terreno de Curitiba e 30% para o terreno de Cascavel.

Tabela 9 - Análise da TIR

Ano	Economia anual	Aluguel Terreno Curitiba	Aluguel Terreno Cascavel	Saldo Acumulado Curitiba	Saldo Acumulado Cascavel
0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	-R\$ 353.338,00	-R\$ 312.666,00

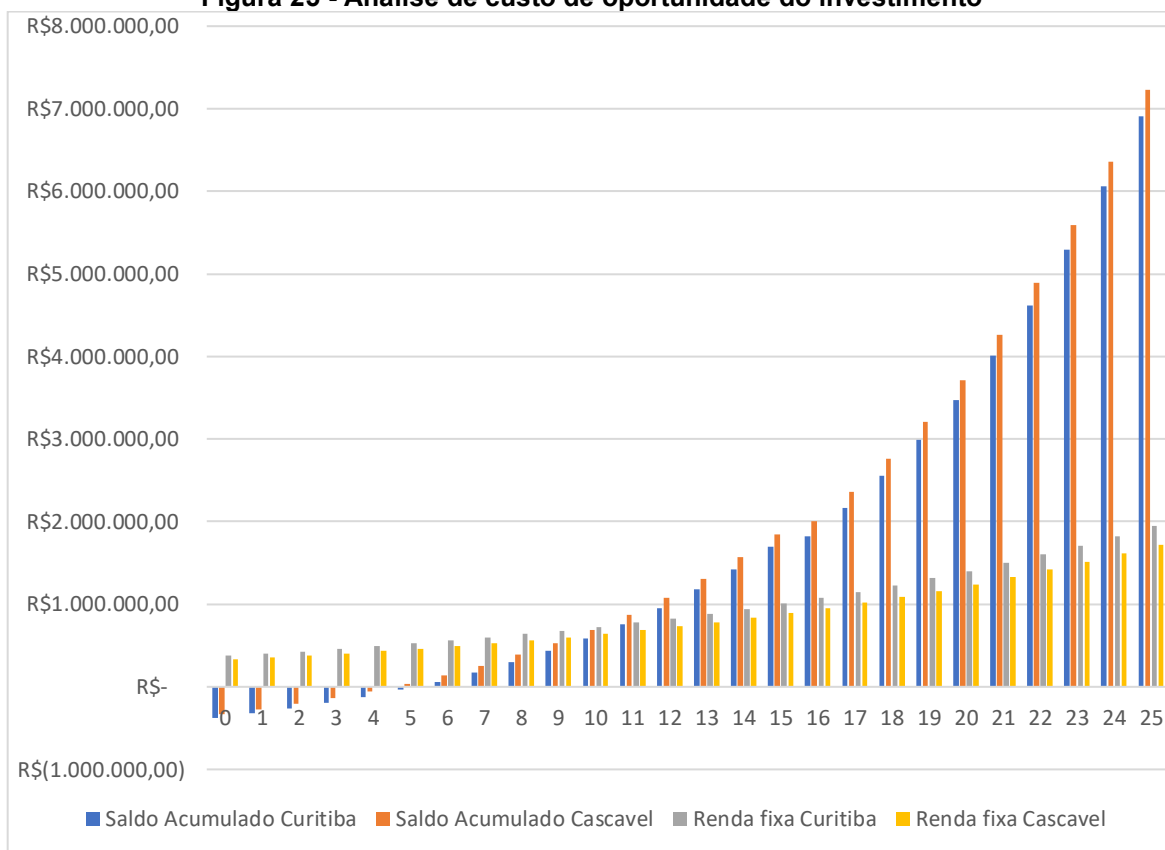
Ano	Economia anual	Aluguel Terreno Curitiba	Aluguel Terreno Cascavel	Saldo Acumulado Curitiba	Saldo Acumulado Cascavel
1	R\$ 69.725,41	R\$ 16.800,00	R\$ 12.000,00	-R\$ 300.412,59	-R\$ 254.940,59
2	R\$ 77.618,32	R\$ 17.791,20	R\$ 12.708,00	-R\$ 240.585,47	-R\$ 190.030,27
3	R\$ 86.404,72	R\$ 18.840,88	R\$ 13.457,77	-R\$ 173.021,64	-R\$ 117.083,33
4	R\$ 96.185,73	R\$ 19.952,49	R\$ 14.251,78	-R\$ 96.788,40	R\$ 35.149,38
5	R\$ 107.073,95	R\$ 21.129,69	R\$ 15.092,64	-R\$ 10.844,14	R\$ 56.831,94
6	R\$ 119.194,72	R\$ 22.376,34	R\$ 15.983,10	R\$ 85.974,24	R\$ 160.043,56
7	R\$ 132.687,57	R\$ 23.696,55	R\$ 16.926,10	R\$ 194.965,27	R\$ 275.805,02
8	R\$ 147.707,80	R\$ 25.094,64	R\$ 17.924,74	R\$ 317.578,42	R\$ 405.588,08
9	R\$ 164.428,32	R\$ 26.575,23	R\$ 18.982,30	R\$ 455.431,52	R\$ 551.034,10
10	R\$ 183.041,61	R\$ 28.143,16	R\$ 20.102,26	R\$ 610.329,97	R\$ 713.973,45
11	R\$ 203.761,92	R\$ 29.803,61	R\$ 21.288,29	R\$ 784.288,28	R\$ 896.447,08
12	R\$ 226.827,77	R\$ 31.562,02	R\$ 22.544,30	R\$ 979.554,02	R\$ 1.100.730,54
13	R\$ 252.504,67	R\$ 33.424,18	R\$ 23.874,42	R\$ 1.198.634,51	R\$ 1.329.360,80
14	R\$ 281.088,20	R\$ 35.396,21	R\$ 25.283,01	R\$ 1.444.326,50	R\$ 1.585.165,99
15	R\$ 312.907,39	R\$ 37.484,59	R\$ 26.774,70	R\$ 1.719.749,30	R\$ 1.871.298,67
16	R\$ 348.328,50	R\$ 39.696,18	R\$ 28.354,41	R\$ 1.842.640,03	R\$ 2.026.866,35
17	R\$ 387.759,29	R\$ 42.038,25	R\$ 30.027,32	R\$ 2.188.361,07	R\$ 2.384.598,31
18	R\$ 431.653,64	R\$ 44.518,51	R\$ 31.798,93	R\$ 2.575.496,20	R\$ 2.784.453,02
19	R\$ 480.516,83	R\$ 47.145,10	R\$ 33.675,07	R\$ 3.008.867,93	R\$ 3.231.294,78
20	R\$ 534.911,34	R\$ 49.926,66	R\$ 35.661,90	R\$ 3.493.852,61	R\$ 3.730.544,22
21	R\$ 595.463,30	R\$ 52.872,33	R\$ 37.765,95	R\$ 4.036.443,57	R\$ 4.288.241,56
22	R\$ 662.869,75	R\$ 55.991,80	R\$ 39.994,14	R\$ 4.643.321,52	R\$ 4.911.117,17
23	R\$ 737.906,60	R\$ 59.295,32	R\$ 42.353,80	R\$ 5.321.932,80	R\$ 5.606.669,97

Ano	Economia anual	Aluguel Terreno Curitiba	Aluguel Terreno Cascavel	Saldo Acumulado Curitiba	Saldo Acumulado Cascavel
24	R\$ 821.437,63	R\$ 62.793,74	R\$ 44.852,67	R\$ 6.080.576,69	R\$ 6.383.254,93
25	R\$ 914.424,37	R\$ 66.498,57	R\$ 47.498,98	R\$ 6.928.502,49	R\$ 7.250.180,32
TIR				26%	30%

Fonte: Autores (2022)

3.5.3 Comparativo com Renda Fixa

Para avaliar o custo de oportunidade do sistema, isto é, o retorno que o dinheiro teria se fosse investido na renda fixa, foi considerado um investimento de 200% do CDI, equivalente a 6,8% ao ano. Para a análise, será comparada os saldos acumulados com o que o investimento inicial acrescido da taxa de renda fixa. A Figura 25 mostra a evolução dos valores acumulados, ambos os cenários são expressivamente maiores que o custo de oportunidade, mostrando a vantagem da instalação do sistema. O valor total economizado para o sistema de Curitiba é de R\$ 6.928.502,49 enquanto o valor do sistema investido seria de R\$ 1.830.086,70 e para a Cascavel o valor economizado é de R\$ 7.250.180,32 e o valor investido será de R\$ 1.619.429,23.

Figura 25 - Análise de custo de oportunidade do investimento

Fonte: Autores (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de payback simples encontrados foram de 6,7 anos para Curitiba e 5,4 para Cascavel, em contrapartida, os paybacks descontados foram menores, apresentando 5,1 anos para Curitiba e 4,4 anos para Cascavel. Isso mostra a representatividade do aumento anual estimado da conta de energia no indicador de viabilidade. Maiores valores no aumento da fatura de energia, como tem sido visto nos últimos anos, impactam diretamente no aumento da viabilidade do projeto.

Os valores presentes líquidos foram na ordem de quatro vezes mais que o valor investido, mostrando a grande rentabilidade do investimento, assim como as taxas internas de retorno dos fluxos de caixa, que apresentaram valores de 26% para Curitiba e 30% para Cascavel. Esses valores podem ser comparados diretamente com investimentos do mercado, sendo taxas muito maiores do que investimentos tradicionais, com isso podemos ver que investimento em energia solar é extremamente rentável.

A análise de custo de oportunidade mostrou uma grande diferença no longo prazo, ambos os cenários foram favoráveis, para o cenário de Curitiba o valor economizado será 3,8 vezes maior que o investimento em renda fixa, enquanto que para Cascavel esse valor é 4,5 vezes maior.

Houve uma diferença perceptível na diferença entre as duas localidades. Devido a maior irradiação solar no oeste do Paraná, o sistema instalado na cidade de Cascavel necessitaria de menos módulos, com isso sua taxa interna de retorno foi 4% acima da encontrada no caso de Curitiba, além de necessitar de uma menor área. Graças a possibilidade da geração distribuída poder ser instalada em qualquer lugar do estado, desde que geração e consumo estejam sob a mesma concessionária, a utilização de terrenos em áreas de maior irradiação média mostrou-se vantajosa.

5 CONCLUSÃO

Com o aumento da necessidade de energias verdes, tendo em vista o grande apelo ambiental, a energia solar fotovoltaica tem tomado cada vez mais destaque. Com a possibilidade de cada indivíduo, empresa ou grupo de pessoas gerar sua própria energia e ainda as distribuir em qualquer localidade que seja abastecida pela mesma concessionária, ela é uma das formas mais práticas e rentáveis de investimento em energia. Além disso, o Brasil conta com uma matriz majoritariamente hídrica, que é considerada renovável, entretanto os maiores potenciais de geração já foram explorados, sobrando pouco espaço para o crescimento dessa forma de energia. Com isso, apesar do grande investimento público no setor eólico e também fotovoltaico, a tendência é que termelétricas venham a ocupar um maior percentual da geração nacional, portanto é esperado que os custos de energia venham a aumentar. A partir deste cenário, estudos de viabilidade econômica de SFVCR são essenciais e desempenham um papel importante na busca de uma diversificação da matriz energética. Tendo em vista que a energia solar fotovoltaica é uma nova forma de investimento, quanto maior o aumento do uso das termelétricas, maior será o aumento do custo de energia, o que reflete diretamente na viabilidade dos projetos fotovoltaicos, que se tornarão cada vez mais rentáveis.

A avaliação do consumo de energia do condomínio estudado e o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para suprir a sua demanda favoreceu o estudo aprofundado em sistemas fotovoltaicos, bem como uma análise do atual cenário do balanço energético nacional e as normativas que regulamentam a geração distribuída no Brasil. Apesar do enorme potencial para a geração através de sistemas fotovoltaicos, a sua presença ainda não é expressiva na matriz energética brasileira, porém o montante de energia produzida vem crescendo a cada ano, estimulado pelas atualizações normativas, bem como uma redução nos custos e aumento de eficiência nos equipamentos disponíveis no mercado. A geração distribuída trás inúmeros benefícios ao sistema elétrico ao diversificar a matriz, adiar investimentos em infraestrutura de geração e transmissão e reduzir a necessidade de acionamento das termelétricas.

Com a análise monetária do projeto, feita por meio da coleta dos custos de instalação e a comparação do retorno financeiro dos sistemas, foi possível entender os cenários de contratação de energia e absorver conceitos fundamentais de análise econômica. Nas condições de estudo observadas, fazendo a coleta de dados e a análise dos cenários de inflação nas tarifas de energia elétrica, o estudo levantou o fluxo de caixa e examinou a viabilidade do projeto. Foi apurado ao longo das simulações que alguns pontos, tais como o espaço físico e a disposição do sistema interferem no rendimento e viabilidade da instalação. Entretanto, a adoção de sistemas fotovoltaicos se revela como uma boa opção para investimentos imobilizados, trazendo claros benefícios ao usuário. Não obstante, é necessário avaliar os possíveis efeitos no sistema elétrico com o crescimento de energia provida por sistemas distribuídos.

Estudos futuros do perfil de crescimento da geração nacional seriam úteis para entender o caminho que o Brasil irá trilhar na sua matriz energética, assim como o exame do impacto do custo de energia nos futuros cenários de geração do país. A análise de novas tecnologias para as células fotovoltaicas também tem um grande benefício, uma vez que ainda pode ser possível reduzir os custos e aumentar a geração dos módulos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA - ABSOLAR. **Potência de energia solar no Brasil atinge 8,8 GW em abril, revela ABSOLAR.** 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3FahuCK>. Acesso em 16 mai. de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA - ABGD. **10 razões para o Brasil aprovar o PL 5829/19.** 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3og0uov>. Acesso em 19 mai. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA - ABGD. **Geração Distribuída: Aspectos Jurídicos na Estruturação de Investimentos e Projetos.** 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3ihxw3T>. Acesso em 28 set. 2021.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ. **Estado vai instalar painéis solares em 246 prédios públicos. 2020.** Disponível em: <https://bit.ly/3ihDKAF>. Acesso em 23 abr. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução ANEEL N°482,** 17 de abril de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução ANEEL N°687,** 24 de novembro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída – Resolução Normativa nº 482/2012 Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL.** 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3kNjJDK>. Acesso em 19 mai. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Geração Distribuída.** 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3axmzKv>. Acesso em 30 mai. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899: Energia solar fotovoltaica — Terminologia.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto.** Rio de Janeiro, 2019.

BANCO CENTRAL DO BRASIL – BCB. **Relatório Focus – Expectativas de Mercado.** Disponível em: <https://bit.ly/3kNMRuF>. Acesso em 10 fev. 2021.

BELIR, T. E.; WHITE, L. L. **Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Global and Sectoral Aspects**

Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Reino Unido, Nova York: Cambridge University Press, 2014.

BÜHLER, A. J.; SANTOS, F. H.; GABE, I. J. **Uma Revisão Sobre as Tecnologias Fotovoltaicas Atuais.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, IFRS - Campus Farroupilha. Grupo de Pesquisa Aplicada em Energias Renováveis - GPAER. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado-RS, 2018.

BRASÍLIA. Câmara dos Deputados. **Substitutivo do Projeto de Lei n.º 5.829, de 2019.** Institui o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e dá outras providências. Disponível em: <https://bit.ly/3ogHHto>. Acesso em 17 mai. 2021.

BRUNI, A. L. **Avaliação de investimentos.** 2. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2013.

CAMPOS, H.M.B. **Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica de Curitiba e Região: Um Estudo de Caso.** 161 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

CANADIAN. **Modelo CS6W-550MB.** Disponível em: https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/06/21135442/CS-Datasheet-BiHiKu6_CS6W-MB-AG_v2.1_EN.pdf. Acesso em 27 de mai. 2022.

CARNEIRO, J. **Módulos Fotovoltaicos – Características e Associações.** Notas de Aulas. Universidade do Minho, Guimarães – Portugal, 2010. Disponível em: <https://bit.ly/3zOOfBi>. Acesso em 09 mar. 2021.

COPEL. **Alterações Tarifárias.** 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/3onwxmi>>. Acesso em 17 mai. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2021: Ano Base 2020.** Rio de Janeiro: EPE, 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030.** Rio de Janeiro: EPE, 2020.

EUROPEAN COMMISSION. **PV Status Report 2019.** Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit, JRC Science and Policy Reports, Novembro de 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3AWh68s>. Acesso em 04 mai. de 2020.

FERRI, L. S. **Requalificação Urbana do Centro de Curitiba-PR.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2009.

FIELD, C. B.; BARROS, V. R.; DOKKEN, D. J.; MARCH, K. J.; MASTRANDREA, M. D.; FREZATTI, F. **Gestão da Viabilidade Econômico-financeira dos Projetos de Investimento**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2013.

FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS - ISE. **Photovoltaics Report**. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3zQHaQG>>. Acesso em 07 out. 2020.
LIMA, M. T. S. L. *et al.* **Sobre a Situação Energética Brasileira: De 1970 a 2030**. Universidade Federal de Santa Maria. *Ciência e Natureza*, v. 37, número 2, 2015, p. 06–16.

NASA. **Solar Radiation**. 2021. Disponível em: <https://go.nasa.gov/2XRqvPQ>. Acesso em 23 abr. 2021.

GREENER. **Estudo Estratégico – Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída – 2º Semestre de 2021**. 2021.

GREENER. **Report Abril 2021**. Disponível em: <https://bit.ly/3CX3nPk>. Acesso em 23 abr. 2021.

INSTITUTO IDEAL. **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica**. 6. ed. Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://institutoideal.org/o-mercado-brasileiro-de-geracao-distribuida-fv-edicao-2019/>. Acesso em 16 jul. 2022.

INSTITUTO PARANAENSE DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO MERCADO IMOBILIÁRIO E CONDOMINIAL - INPESPAR. **Análise do Mercado de Locação em Curitiba**. Curitiba, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **IEA Electricity Information**. 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3yhOkAI>. Acesso em 30 mai. 2022.

KUMAN, M.; KUMAR, A. **Performance assessment and degradation analysis of solar photovoltaic technologies: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Alternate Hydro Energy Centre. Indian Institute of Technology Roorkee, Uttarakhand, India. Elsevier, 2017.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Atuais e Perspectivas Futuras**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Energia e Ambiente, PPGE – USP, São Paulo – SP, 2014.

PERAZA, D. G. **Estudo da Viabilidade da Instalação de Usina Solares Fotovoltaicas no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PROMEC – UFRGS, Porto Alegre – RS, 2013.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito – CRESESB. 2014. Disponível em:

<https://bit.ly/2XXSUUw>. Acesso em 23 abr. 2021.

PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Pannel Solar**. 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3izf3jx>. Acesso em 17 de mar. de 2021.

REN21. **RENEWABLES GLOBAL STATUS REPORT**. Paris, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3ogCbXC>. Acesso em 20 abr. 2021.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR, 2004.

SOLAREEDGE. **Extensão de Garantia do Inversor**. 2022. Disponível em: <https://www.solareedge.com/br/warranty>. Acesso em 13 de jun. de 2022.

TAKAMI, M. H. F. **Estudo de Técnicas de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência e Anti-ilhamento em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Industrial Elétrica: Ênfase em Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, PPGEPS – PUCPR, Curitiba – PR, 2015.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONÇALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba: UTFPR, 2017a.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná - 1a Edição – Ferramenta Interativa Web**. Curitiba: UTFPR, 2017b. Disponível em: www.atlassolarparana.com. Acesso em 12 mai. de 2019.

TONIN, F. S. **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na Cidade de Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia, PPGSE – UTFPR, Curitiba – PR, 2017.

URBANETZ JUNIOR, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar o Conectividade**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PPGECC – UFSC, Florianópolis – SC, 2010.

WIRTH, H., WEIß, K., WIESMEIER, C. **Photovoltaic Modules: Technology and Reliability**. 1 ed. Freiburg: De Gruyter, 2016.