

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

BIANCA DOS PASSOS

**ANÁLISE ECONÔMICA COMPARATIVA ENTRE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA E AUTOPRODUTOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA:
viabilidade de investimentos em usinas fotovoltaicas**

FLORIANÓPOLIS, 2024.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

BIANCA DOS PASSOS

**ANÁLISE ECONÔMICA COMPARATIVA ENTRE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA E AUTOPRODUTOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA:
viabilidade de investimentos em usinas fotovoltaicas**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira
Eletricista.

Orientador: Prof. Everthon T. Sica, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2024.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Passos, Bianca

Análise econômica comparativa entre geração distribuída e autoprodutor de energia fotovoltaica: viabilidade de investimentos em usinas fotovoltaicas / Bianca Passos; orientação de Everthon Sica. - Florianópolis, SC, 2024.

57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.
Inclui Referências.

1. Energia Fotovoltaica. 2. Autoprodutor de Energia.
3. Geração Distribuída. I. Sica, Everthon. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Análise econômica comparativa entre geração distribuída e autoprodutor de energia fotovoltaica.

**ANÁLISE ECONÔMICA COMPARATIVA ENTRE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA E AUTOPRODUTOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA:
viabilidade de investimentos em usinas fotovoltaicas**

BIANCA DOS PASSOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 11 de setembro de 2024.

Banca Examinadora:

Prof. Everthon T. Sica, Dr. Eng.

Prof. Daniel Tenfen, Dr. Eng
IFSC

Prof. Edison A. C. Aranha Neto, Dr. Eng.
IFSC

AGRADECIMENTOS

Ao concluir esta etapa significativa da minha jornada acadêmica, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso e para a minha formação em Engenharia Elétrica.

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Agnaldo e Simone, por seu amor incondicional, apoio constante e por acreditarem em mim em cada passo do caminho. Sem o suporte emocional e os valores que me ensinaram, este momento não seria possível. Vocês são minha inspiração e minha força.

Dedico este trabalho ao meu bisavô, Arlindo Schmitz, cuja memória vive em meu coração. Sua determinação e sabedoria continuam a me guiar, e sua presença espiritual foi uma fonte de motivação constante durante esta jornada.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Everthon T. Sica. Sua paciência, dedicação e crença em meu potencial foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Mesmo quando eu quis desistir, você nunca desistiu de mim. Sua orientação e incentivo me ensinaram a importância da perseverança e do compromisso com a excelência.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso desta caminhada, meu sincero agradecimento. Esta conquista é um reflexo do apoio e da confiança que recebi de cada um de vocês.

*“Change is the law of life.
And those who look only to the past or
present are certain to miss the future.”*

John F. Kennedy

RESUMO

A crescente demanda por fontes de energia renováveis e a busca por sustentabilidade energética têm impulsionado o interesse em tecnologias de geração de energia fotovoltaica. Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo analisar economicamente e comparar a geração distribuída e o autoprodutor de energia fotovoltaica, avaliando a viabilidade de investimentos em usinas fotovoltaicas. A pesquisa aborda os aspectos técnicos, regulatórios e econômicos de ambos os modelos de geração. A metodologia adotada envolve a coleta de dados, utilizando fontes como estudos de caso e análises de mercado. A análise econômica é realizada através de métodos consagrados como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*, além de considerar os custos iniciais, operacionais, de manutenção e os possíveis incentivos e subsídios disponíveis. Os resultados da pesquisa revelam as vantagens e desvantagens de cada modelo em termos de custo-benefício, riscos associados e retorno sobre o investimento. De um lado, a geração distribuída se mostra vantajosa para consumidores residenciais e pequenas empresas devido à simplicidade regulatória e aos incentivos financeiros. Por outro lado, o modelo de autoprodutor de energia é mais adequado para grandes empresas e indústrias, permitindo maior independência energética e a possibilidade de comercialização do excedente de energia. As conclusões indicam que, embora ambos os modelos sejam viáveis economicamente, a escolha entre geração distribuída e autoprodução depende do perfil de consumo e das necessidades específicas do investidor. O estudo também aponta para a importância de políticas públicas e incentivos governamentais na promoção da energia fotovoltaica como uma solução sustentável e economicamente atrativa. Este trabalho contribui para o entendimento das diferentes opções de geração de energia fotovoltaica, fornecendo uma base sólida para investidores, tomadores de decisão e pesquisadores interessados em explorar o potencial das usinas fotovoltaicas no Brasil.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica. Geração Distribuída. Autoprodutor de Energia. Análise Econômica.

ABSTRACT

The growing demand for renewable energy sources and the pursuit of energy sustainability have fueled interest in photovoltaic energy generation technologies. This research project aims to economically analyze and compare distributed microgeneration and self-generation of photovoltaic energy, evaluating the feasibility of investing in solar power plants. The study addresses the technical, regulatory, and economic aspects of both generation models. The adopted methodology involves collecting data using sources such as case studies and market analysis. The economic analysis is carried out using established methods such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback, while considering initial, operational, and maintenance costs, as well as potential incentives and subsidies available. The research results reveal the advantages and disadvantages of each model in terms of cost-benefit, associated risks, and return on investment. Distributed microgeneration proves advantageous for residential consumers and small businesses due to regulatory simplicity and financial incentives. On the other hand, the self-generation model is more suitable for large companies and industries, allowing for greater energy independence and the possibility of selling excess energy. The conclusions indicate that although both models are economically viable, the choice between distributed microgeneration and self-generation depends on the consumption profile and specific needs of the investor. The study also highlights the importance of public policies and government incentives in promoting photovoltaic energy as a sustainable and economically attractive solution. This research contributes to understanding the different options for photovoltaic energy generation, providing a solid foundation for investors, decision-makers, and researchers interested in exploring the potential of solar power plants in Brazil.

Keywords: Photovoltaic Energy. Distributed Generation. Energy Self-Producer. Economic Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de Eletricidade por fonte de energia em GWh.....	19
Figura 2 – Matriz energética brasileira.....	20
Figura 3 – Fontes de energia na geração distribuída.....	24
Figura 4 – Geração total ao longo dos anos.....	25
Figura 5 – Histórico das regulamentações da GD.....	27
Figura 6 – Fluxo do processo de adesão à CCEE.....	30
Figura 7 – Fatura de Energia sem UFV.....	36
Figura 8 – Dados de entrada.....	41
Figura 9 – Dimensionamento do Sistema FV.....	44
Figura 10 – Ordem de Produção do <i>Kit</i> Fotovoltaico.....	45
Figura 11 – Análise financeira de MMGD.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação da Geração de Eletricidade por fonte de energia.....	20
Tabela 2 – Tarifas de Energia - Neoenergia COSERN.....	37
Tabela 3 – Composição da Tarifa de Energia.....	39
Tabela 4 – Tributos incidentes na Fatura de Energia - Neoenergia COSERN.....	40
Tabela 5 – Média do Total Diário da Irradiação no Plano Inclinado (Wh/m ² .dia)...	40
Tabela 6 – Análise Financeira para o APE.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL - Ambiente de Contratação Livre

ACR - Ambiente de Contratação Regulado

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

APE - Autoprodutor de Energia

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

GD - Geração Distribuída

GWh - gigawatts-hora

GW - gigawatts

kW - quilowatts

MME - Ministério de Minas e Energia

MMGD - Microgeração e Minigeração Distribuída

MWh - megawatts-hora

MW - megawatts

PNE - Plano Nacional de Energia

REH - Resolução Homologatória

REN - Resolução Normativa

SCEE - Sistema de Compensação de Energia Elétrica

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TWh - terawatts-hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa.....	14
1.2 Definição do problema.....	15
1.3 Objetivo Geral.....	15
1.4 Objetivos Específicos.....	15
1.5 Estrutura do trabalho	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Energia fotovoltaica	17
2.1.1 Princípios de funcionamento	20
2.2 Geração distribuída.....	21
2.2.1 Regulamentações e políticas.....	24
2.3 Autoprodutor de energia	27
2.3.1 Regulamentações e políticas da Geração Distribuída	30
2.4 Viabilidade financeira de projetos de energia fotovoltaica	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 Tipo de pesquisa	34
3.2 Coleta de dados.....	34
3.2.1 Objeto de estudo	36
3.3 Análise de dados	38
3.4 Limitações e premissas do estudo.....	40
4 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA	42
4.1 Geração distribuída.....	42
4.1.1 Custos iniciais de implantação	42
4.1.2 Manutenção e operação.....	44
4.1.3 Economia gerada.....	44
4.1.4 Incentivos e subsídios.....	45
4.2 Autoprodutor de energia	45
4.2.1 Custos iniciais de implantação	45
4.2.2 Manutenção e operação.....	46
4.2.3 Economia gerada.....	46
4.2.4 Incentivos e subsídios.....	47
4.3 Comparação entre os dois modelos.....	48
5 CONCLUSÃO	50

REFERÊNCIAS.....52

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de promover a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável tem uma relevância crescente nos últimos anos, especialmente diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo esgotamento das fontes de energia convencionais, como o petróleo, o carvão e o gás natural. Em meio a esse cenário, as fontes renováveis, especialmente a energia fotovoltaica, têm se destacado como uma alternativa promissora para a diversificação da matriz energética global. No Brasil, um país privilegiado pela alta incidência solar, a adoção de sistemas fotovoltaicos é crescente, impulsionada tanto por incentivos governamentais quanto por avanços tecnológicos que tornam essa tecnologia mais acessível e eficiente.

Dentro do contexto da energia fotovoltaica, duas modalidades têm se mostrado viáveis e atraentes para diferentes perfis de consumidores: a geração distribuída e a autoprodução de energia fotovoltaica. A geração distribuída se caracteriza pela produção de energia em pequena escala, geralmente conectada à rede de distribuição elétrica, permitindo que os consumidores, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais, reduzam significativamente sua dependência das concessionárias de energia e, conseqüentemente, seus custos com eletricidade. Já, a autoprodução de energia fotovoltaica é uma modalidade voltada para consumidores com maior demanda energética, que buscam produzir sua própria energia de forma independente, com possibilidade de vender o excedente de energia gerado ou, em alguns casos, se desconectar totalmente da rede de distribuição de energia elétrica.

Além dos benefícios econômicos, a geração de energia fotovoltaica, tanto na modalidade de geração distribuída quanto na autoprodução, desempenha um papel essencial na redução das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais causados pela geração de energia a partir de fontes não renováveis. A energia fotovoltaica, por ser uma fonte limpa, abundante e gratuita, apresenta um grande potencial para reduzir a pegada de carbono de empresas e consumidores individuais, ao mesmo tempo em que promove maior autonomia energética e estabilidade no fornecimento de eletricidade.

Apesar de suas claras vantagens, a adoção de sistemas fotovoltaicos ainda enfrenta barreiras significativas, como os elevados custos iniciais de instalação, o desconhecimento sobre os benefícios a longo prazo e as dificuldades regulatórias que, em muitos casos, retardam a implementação em larga escala dessas

tecnologias. Nesse sentido, torna-se fundamental uma análise detalhada da viabilidade econômica e financeira comparativa entre a geração distribuída e a autoprodução de energia fotovoltaica, com o objetivo de identificar as oportunidades e desafios que envolvem o investimento em usinas fotovoltaicas. A análise econômica considera não apenas os custos de instalação e manutenção dos sistemas, mas também os possíveis incentivos fiscais, como subsídios e créditos fiscais, oferecidos por governos que buscam fomentar o uso de fontes renováveis.

O presente estudo visa contribuir para o debate sobre a expansão da energia fotovoltaica como solução sustentável e economicamente viável, destacando seu papel crucial na transição para uma matriz energética limpa e na promoção da independência energética dos consumidores. A seguir, são apresentados justificativa, definição do problema, objetivo geral e objetivos específicos que norteiam a presente pesquisa e evidenciam sua contribuição e relevância para o tema “energia sustentável”.

1.1 Justificativa

A justificativa deste trabalho está fundamentada em diversos aspectos relevantes. Primeiramente, ao promover o uso de energia fotovoltaica, contribui-se para a preservação do meio ambiente e para a transição na direção de uma matriz energética mais limpa e sustentável.

Além disso, a energia fotovoltaica, sendo uma fonte abundante e gratuita, pode acarretar uma redução significativa nos gastos com energia elétrica. Investir na instalação de sistemas de geração distribuída e de autoprodução de energia fotovoltaica permite aos consumidores diminuir suas faturas de energia a longo prazo, promovendo economia e aumentando a eficiência energética.

Ademais a autonomia energética é um aspecto importante proporcionado pela geração distribuída e pelo autoprodutor de energia fotovoltaica. Os consumidores podem ser autossuficientes em energia, não dependendo exclusivamente das concessionárias de energia elétrica e, assim produzir sua própria energia de forma independente. Isso resulta em maior estabilidade no fornecimento de energia e reduz a vulnerabilidade a cortes de energia.

Além dos benefícios ambientais e econômicos, muitos países e governos estão incentivando a adoção da geração distribuída e do autoprodutor de energia

fotovoltaica por meio de políticas de incentivo, como subsídios, créditos fiscais e tarifas de energia atraentes. Este trabalho busca destacar esses incentivos e conscientizar sobre as oportunidades e benefícios disponíveis para aqueles que desejam adotar essa tecnologia. Em síntese, a justificativa deste trabalho é promover a adoção da geração distribuída e do autoprodutor de energia fotovoltaica como soluções sustentáveis e economicamente viáveis.

1.2 Definição do problema

Apesar dos avanços tecnológicos e dos benefícios ambientais e econômicos associados à energia fotovoltaica, muitas pessoas e empresas ainda não consideram a instalação destas usinas fotovoltaicas devido a diversos desafios e barreiras, como altos custos iniciais, falta de conhecimento sobre o assunto e obstáculos regulatórios.

Diante desse contexto, a questão central deste estudo é: Qual é a viabilidade econômica comparativa entre a geração distribuída e a autoprodução de energia fotovoltaica, considerando os investimentos necessários, os benefícios econômicos a longo prazo e os possíveis incentivos governamentais?

1.3 Objetivo Geral

O objetivo principal do estudo é analisar a viabilidade econômica comparativa da geração distribuída e do autoprodutor de energia fotovoltaica, considerando os investimentos necessários, os benefícios econômicos a longo prazo e os possíveis incentivos governamentais.

1.4 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho incluem:

- a) realizar uma revisão da literatura sobre geração distribuída e autoprodutor de energia fotovoltaica;
- b) analisar os aspectos econômicos e financeiros da instalação de usinas fotovoltaicas;
- c) avaliar os benefícios e desafios da geração distribuída e do autoprodutor de energia fotovoltaica; e

- d) propor recomendações para promover a adoção da geração distribuída e do autoprodutor de energia fotovoltaica.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em quatro capítulos, cada um contribuindo de maneira significativa para o desenvolvimento e compreensão do estudo sobre energia fotovoltaica.

No Capítulo 1, intitulado "Introdução", são apresentados o contexto e a relevância do estudo, juntamente com a definição clara do problema de pesquisa. Este capítulo também estabelece os objetivos gerais e específicos que orientarão o desenvolvimento do trabalho, fornecendo uma visão geral das questões que serão abordadas ao longo da dissertação.

O Capítulo 2 é dedicado à "Revisão da Literatura". Nesta seção, é realizada uma análise abrangente da literatura existente sobre energia fotovoltaica, destacando-se as diferentes modalidades de geração com usinas fotovoltaicas. O capítulo discute os principais conceitos associados a essa forma de energia renovável, assim como as regulamentações que governam o setor. Ao explorar esses aspectos, busca-se oferecer uma base teórica sólida que sustentará a análise e discussão dos resultados obtidos.

No Capítulo 3, intitulado "Metodologia", são descritos em detalhes os métodos e procedimentos adotados para a coleta e análise dos dados. A metodologia foi elaborada para garantir a assertividade dos resultados obtidos. Neste capítulo, são detalhadas as técnicas de análise financeira utilizadas, assim como os critérios adotados para avaliar a viabilidade do projeto, assegurando que as conclusões sejam fundamentadas em dados robustos e rigorosamente analisados.

Por fim, o Capítulo 4 apresenta os "Resultados e Discussão". Nesta última seção, são expostos os resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados. O capítulo explora as implicações desses achados, oferecendo uma comparação crítica e uma discussão sobre a eficácia dos diferentes modelos de geração de energia analisados. Através desta análise, busca-se contribuir para o avanço do conhecimento no campo da energia fotovoltaica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção são apresentados os principais conceitos e estudos relacionados à geração distribuída e à autoprodução de energia fotovoltaica. A seção fornece a base teórica necessária para embasar a pesquisa, destacando avanços e desafios no campo das energias renováveis, além de contextualizar o tema dentro do cenário atual.

2.1 Energia fotovoltaica

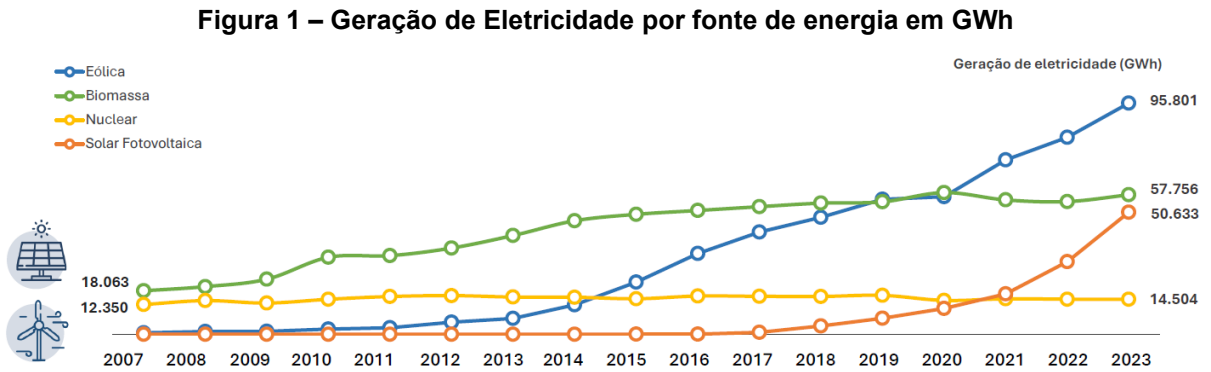
A energia fotovoltaica é considerada o recurso energético mais abundante disponível, podendo ser aproveitada inclusive em condições de nebulosidade. A quantidade de energia fotovoltaica captada pela Terra é aproximadamente dez mil vezes superior ao total de energia consumida pela humanidade (UNITED NATIONS, [202-?]). O efeito fotovoltaico é um fenômeno físico que possibilita a transformação direta da luz em eletricidade. Esse processo acontece quando a luz solar, ou radiação eletromagnética proveniente do Sol, atinge uma célula feita de materiais semicondutores com características específicas (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A energia fotovoltaica tem se destacado como uma das fontes de energia com maior crescimento em termos de capacidade instalada em todo o mundo. Este fenômeno pode ser atribuído a uma combinação de fatores, incluindo a significativa redução dos custos de instalação e operação nos últimos anos, os avanços tecnológicos que têm aumentado a eficiência dos sistemas fotovoltaicos e o vasto potencial técnico que a energia fotovoltaica oferece. Além disso, a operação de parques fotovoltaicos não emite gases de efeito estufa, o que torna essa fonte de energia ainda mais atraente em um contexto global que busca a sustentabilidade.

No Brasil, a tendência de expansão da energia fotovoltaica é igualmente evidente. O país, devido à sua localização geográfica privilegiada, recebe altos índices de radiação solar, que são comparáveis ou superiores aos de nações onde a tecnologia fotovoltaica é mais desenvolvida. Essa incidência de luz solar em todo o território nacional facilita o desenvolvimento de projetos fotovoltaicos viáveis em diversas regiões, permitindo que tanto áreas urbanas quanto rurais possam se beneficiar dessa fonte de energia.

Além de sua viabilidade técnica, a energia fotovoltaica se apresenta como uma alternativa econômica competitiva. A diminuição dos custos de instalação e a possibilidade de modularidade na implementação de projetos, que podem variar de pequenas instalações residenciais a grandes usinas fotovoltaicas, tornam a energia fotovoltaica uma opção atraente para atender à crescente demanda por eletricidade. Essa diversidade de escalas permite que a energia fotovoltaica se adapte a diferentes perfis de consumo e condições locais, ampliando seu alcance e potencial de impacto.

Conforme a Figura 1, a geração de energia solar fotovoltaica apresentou um avanço significativo, alcançando a impressionante marca de 50,6 terawatts-hora (TWh), englobando tanto a geração centralizada quanto a modalidade de micro e minigeração distribuída (MMGD) (Empresa de Pesquisa Energética, 2024).



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2024).

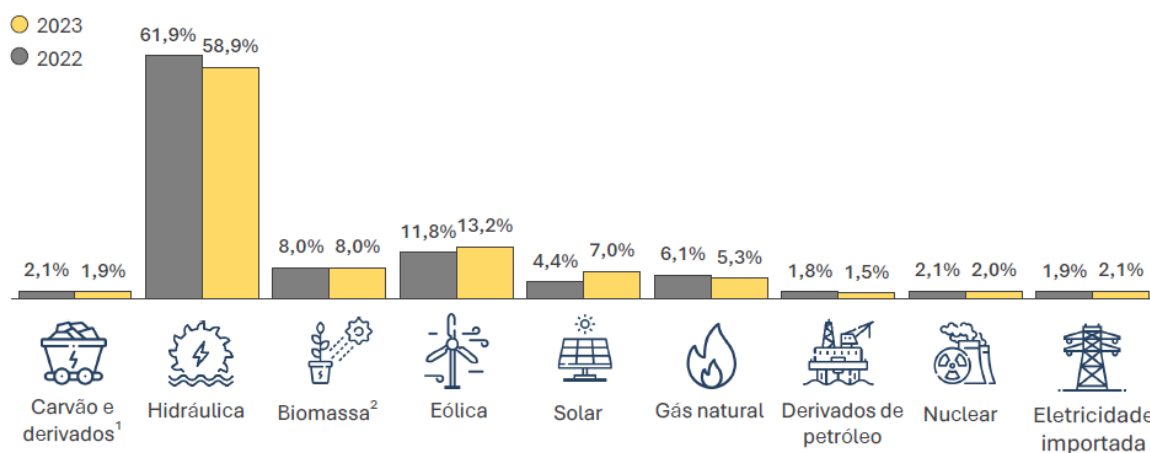
Esse crescimento representa um aumento de 68,1% em comparação ao período anterior (Tabela 1), evidenciando a crescente adoção dessa fonte de energia. Além disso, de acordo com a EPE (2024), a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos atingiu 37.843 megawatts (MW) em 2023, refletindo uma expansão de 54,8% em relação ao ano anterior. Esses números não apenas destacam a evolução da energia fotovoltaica no cenário atual, mas também indicam um movimento robusto em direção à diversificação e sustentabilidade da matriz energética.

Tabela 1 – Variação da Geração de Eletricidade por fonte de energia

Fonte	2022	2023	Δ% 23/22
Hidrelétrica	427.114	425.996	-0,3%
Gás Natural	41.911	38.589	-7,9%
Eólica	81.632	95.801	17,4%
Biomassa ²	52.212	54.210	3,8%
Nuclear	14.559	14.504	-0,4%
Carvão Vapor	7.988	8.770	9,8%
Derivados do Petróleo ³	7.056	5.686	-19,4%
Solar Fotovoltaica	30.126	50.633	68,1%
Outras ⁴	14.563	13.932	-4,3%
Geração Total	677.162	708.119	4,6%

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2024)

Apesar do crescimento expressivo nos últimos 5 anos, esta fonte de energia ainda representa somente 7,0% da matriz energética brasileira (Figura 2).

Figura 2 – Matriz energética brasileira

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2024).

Ademais, a energia fotovoltaica se alinha aos compromissos do Brasil em relação à redução das emissões de gases de efeito estufa. Ao optar por essa fonte de

energia, o país não apenas diversifica sua matriz energética, mas também contribui para um futuro mais sustentável e menos dependente de fontes de energia poluentes.

2.1.1 Princípios de funcionamento

A energia solar fotovoltaica é obtida a partir da conversão direta da energia da radiação luminosa em eletricidade, denominada de efeito fotovoltaico. Esse efeito consiste no surgimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor quando há absorção de luz. Esse fenômeno foi observado pela primeira vez pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel em 1839. Ele ocorre em determinados materiais semicondutores que possuem a capacidade de absorver a energia dos fótons presentes na luz incidente, transformando essa energia em eletricidade. Quando esses materiais absorvem a energia luminosa, as ligações químicas entre as moléculas em sua estrutura são rompidas, liberando cargas elétricas que podem ser utilizadas para realizar trabalho (ZILLES *et al.*, 2012).

Um semicondutor é um material que não se enquadra estritamente como condutor elétrico nem como isolante. Suas propriedades podem ser ajustadas através da adição de dopantes ou impurezas. As camadas semicondutoras das células fotovoltaicas podem ser confeccionadas com diversos materiais, sendo o silício o mais comumente utilizado. Aproximadamente 95% das células fotovoltaicas produzidas mundialmente são de silício, devido à sua abundância e baixo custo (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Geralmente, uma célula fotovoltaica é formada pela junção de duas camadas de material semicondutor, uma do tipo P e outra do tipo N, denominado monocristalino. Existem também células de múltiplas junções, que possuem várias camadas, embora seu princípio de funcionamento seja semelhante ao das células de duas camadas, chamadas de células policristalinas. As células de múltiplas junções têm maior capacidade de produção de energia, contudo, são mais dispendiosas e menos utilizadas em comparação às células de duas camadas (ZILLES *et al.*, 2012).

Os módulos fotovoltaicos são interconectados em configurações de série e paralelo, formando arranjos que aumentam a capacidade de geração de energia, tanto em termos de tensão quanto de corrente, em comparação a um módulo isolado. Quando os módulos são conectados em série, criam-se *strings*. É crucial que, para

minimizar perdas de potência no sistema, apenas módulos do mesmo tipo sejam utilizados (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A quantidade de módulos conectados em série define a tensão total do arranjo fotovoltaico, que é a tensão aplicada aos terminais de entrada de corrente contínua (CC) do inversor. Os inversores devem ser adequadamente dimensionados para suportar a soma das tensões de circuito aberto dos módulos, o que corresponde à tensão de circuito aberto da string. Este dimensionamento é essencial para garantir o funcionamento eficiente e seguro do sistema fotovoltaico (ZILLES *et al.*, 2012).

O inversor é um dispositivo eletrônico essencial que transforma a energia elétrica gerada em corrente contínua (CC) pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA). Esta conversão é indispensável em sistemas fotovoltaicos, pois permite que a energia produzida seja utilizada por dispositivos que operam em corrente alternada, que é a forma predominante de fornecimento de energia elétrica para consumidores. A função do inversor é, portanto, fundamental para integrar a geração de energia fotovoltaica ao sistema elétrico convencional, garantindo compatibilidade e eficiência no uso da eletricidade gerada (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

2.2 Geração distribuída

O termo Geração Distribuída (GD) é a oposição ao modelo de geração centralizada de energia, amplamente adotado em todo o mundo. No modelo centralizado, a produção de energia é realizada por grandes unidades geradoras localizadas longe dos principais centros consumidores. A energia produzida por essas grandes usinas é então transportada para os consumidores finais através de longas linhas de transmissão e uma rede de distribuição complexa e extensa (ZILLES *et al.*, 2012).

A GD pode ser dividida em dois grupos principais: Micro e Minigeração Distribuída (MMGD). O grupo de Microgeração é constituído por usinas com a capacidade instalada do sistema é de até 75 kW e a Minigeração quando esta capacidade está entre 75 kW e 3 MW, podendo ser até 5 MW para fontes despacháveis. Ambos os grupos permitem que o excedente de energia gerado seja injetado na rede elétrica, sendo compensado posteriormente na conta de luz (BRASIL, 2022).

De acordo com a Resolução Normativa ANEEL Nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021, a Micro e Minigeração distribuída (MMGD) é definida como central geradora de energia elétrica que utiliza fontes renováveis ou de cogeração qualificada, conectada à rede de distribuição de energia elétrica por meio de unidade consumidora, da qual é considerada parte. Zilles *et al.* (2012) adotam a mesma definição e acrescentam que a geração distribuída geralmente possui uma pequena capacidade instalada e ocorre próxima ao ponto de consumo, permitindo que a energia seja consumida integral ou parcialmente no próprio local onde é gerada, com o excedente sendo injetado na rede.

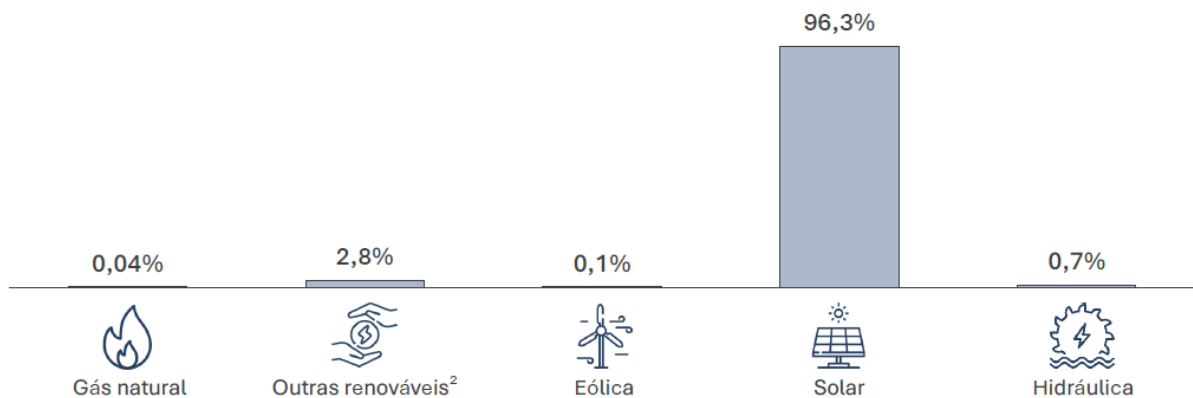
Cada uma das formas de geração de energia elétrica, que se enquadram na MMGD, possui características específicas e podem ser mais adequadas para determinadas regiões do país. Na geração eólica, conforme apontado pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2023), os aerogeradores captam a força dos ventos e transformam-na em eletricidade. Essa alternativa tem ganhado destaque no país, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, por ser uma opção abundante e sustentável.

A biomassa também desempenha um papel relevante na matriz energética da geração distribuída brasileira. De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), resíduos agrícolas, como bagaço de cana-de-açúcar e casca de arroz, são utilizados para gerar eletricidade por meio da queima desses materiais. Essa fonte de energia renovável contribui para a redução do uso de combustíveis fósseis e para o aproveitamento sustentável dos resíduos agrícolas.

Além disso, de acordo com a ANEEL (2023), a energia solar fotovoltaica é uma das principais fontes utilizadas na geração distribuída no país. A irradiação solar captada pelos módulos fotovoltaicos é convertida em eletricidade, proporcionando uma forma limpa e renovável de produção energética.

Apesar de a política de implantação de MMGD prever diversas fontes de energia, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024) mais de 95% das adesões são de fonte solar fotovoltaica (Figura 3).

Figura 3 – Fontes de energia na geração distribuída

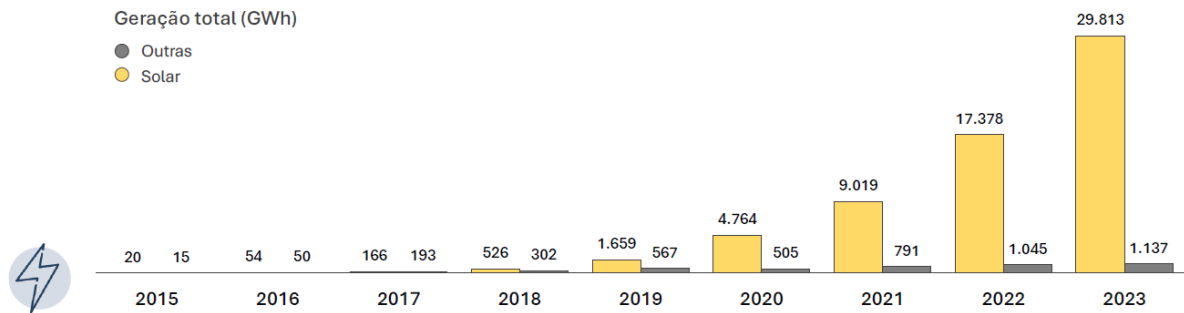


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2024).

Em 2007, a Empresa de Pesquisa Energética publicou o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), neta época as tecnologias de energia fotovoltaica ainda eram pouco discutidas. Nesse estudo, a análise realizada previa uma participação marginal da energia fotovoltaica na matriz energética até o horizonte de 2030. No entanto, a ANEEL publicou a Resolução Normativa Nº 482, em 17 de abril de 2012, que estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica, impulsionando um movimento de investimento nas tecnologias fotovoltaicas. Este movimento facilitou a adesão dos sistemas fotovoltaicas pelos consumidores e os tornou economicamente viáveis. (BRASIL, 2007)

Em 2020, a EPE lançou um novo estudo, o Plano Nacional de Energia 2050, que considera uma participação significativa da energia fotovoltaica na matriz energética até 2050, com projeções variando entre 26 GW e 91 GW de potência instalada. Notavelmente, em 2023, somente a micro e minigeração distribuída no Brasil, baseadas em geração solar fotovoltaica, já atingiram 26.366 MW de potência instalada e 29.813 GWh, conforme ilustrado na Figura 4. (BRASIL, 2020),

Figura 4 – Geração total ao longo dos anos



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2024).

2.2.1 Regulamentações e políticas

A Resolução Normativa (REN) Nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi publicada em 17 de abril de 2012 com o objetivo de facilitar o acesso à geração distribuída (GD) no Brasil. Essa resolução estabeleceu as condições gerais para o acesso à microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

A REN 482/2012 permitiu que cidadãos com um CNPJ ou CPF ativo produzam a sua própria energia elétrica, por meio das energias fotovoltaica ou eólica. A resolução também instituiu o modelo de *net metering*, um sistema de compensação para incentivar os consumidores a produzirem a sua própria energia elétrica. (ANEEL, 2012)

A REN 482/2012 também estimulou ao desenvolvimento da geração fotovoltaica, pois o investimento em novas tecnologias possibilitou a criação de módulos fotovoltaicos mais eficientes e acessíveis para a época. (ANEEL, 2012)

A primeira revisão oficial, que alterou a REN 482/2012, ocorreu em 2015, com a publicação da REN 687/2015, que introduziu alterações significativas nas potências máximas permitidas para micro e minigeração. Com essa nova normativa, a potência máxima para a microgeração foi reduzida de 100 kW para 75 kW, refletindo uma reavaliação das diretrizes para sistemas de menor escala. Em contrapartida, a potência máxima para a minigeração foi ampliada, de 1 MW para 5 MW. Essas mudanças visam não apenas ajustar os limites de geração, mas também fomentar um ambiente mais favorável ao desenvolvimento de projetos de geração distribuída,

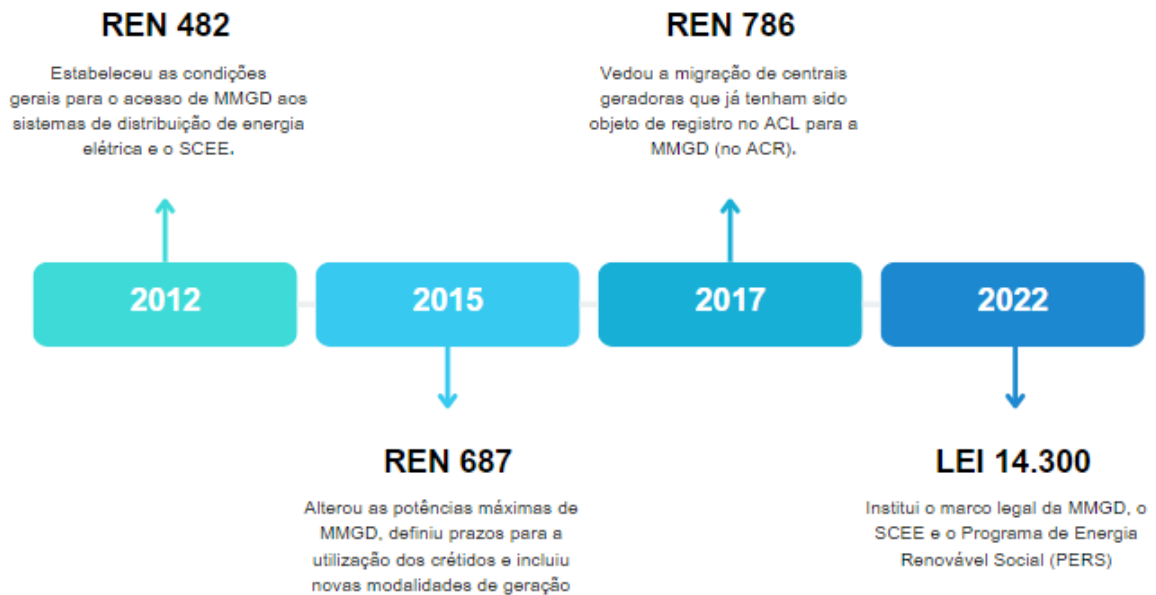
promovendo a diversificação da matriz energética e incentivando a adoção de fontes renováveis. (ANEEL, 2015)

Adicionalmente, a REN 687/2015 estabeleceu um prazo de 60 meses para a utilização dos créditos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), assim como um prazo máximo de 34 dias para a emissão do parecer de acesso por parte da distribuidora de energia. Essas disposições são fundamentais para garantir maior agilidade e eficiência nos processos de conexão e uso da energia gerada, contribuindo assim para a viabilidade e atração de investimentos em projetos de geração distribuída. Outra alteração importante foi a possibilidade da compensação entre diferentes unidades consumidoras do mesmo titular (CPF ou CNPJ), oferecendo maior flexibilidade na gestão energética, particularmente para empresas com múltiplas instalações. (ANEEL, 2015)

Em outubro de 2017, uma revisão de caráter extraordinário resultou na publicação da REN Nº 786/2017. Esta resolução vedou a migração de usinas classificadas como centrais geradoras, que já foram registradas, autorizadas ou já tenham sido objeto de registro no Ambiente de Contratação Livre (ACL), para a classificação como micro ou minigeração distribuída. (ANEEL, 2017)

Nos anos subsequentes, houve intensas discussões sobre possíveis novas alterações regulatórias propostas pela ANEEL, acarretando significativa mobilização parlamentar em busca da definição de um Marco Legal para a Geração Distribuída (GD). Esse esforço culminou, em 2022, com a oficialização e publicação do Marco Legal por meio da Lei Nº 14.300 (BRASIL, 2022). A Figura 5 resume as principais regulamentações publicadas até 2024.

Figura 5 – Histórico das regulamentações da GD



Fonte: Elaboração própria (2024).

A Lei Nº 14.300 representa uma expansão significativa em relação à Resolução Normativa Nº 786, ao não apenas definir e regulamentar os procedimentos para micro e minigeração distribuída, mas também ao estabelecer um marco legal abrangente que incorpora novos programas sociais e regras para compensação de energia. Entre as transformações mais notáveis, destaca-se a definição do limite de potência para minigeração em 3 MW para fontes não-despacháveis. Além disso, a Lei passa a exigir garantias de fiel cumprimento para projetos de minigeração, excetuando-se casos de geração compartilhada e empreendimento com múltiplas unidades consumidoras. (BRASIL, 2022)

A legislação também introduz regulamentações detalhadas sobre tarifas e componentes tarifários para as unidades participantes do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Durante o período de transição, as unidades participantes não arcarão imediatamente com as tarifas associadas ao uso do sistema de distribuição. Contudo, há um cronograma escalonado para a implementação dessas tarifas, começando em 2023 e se estendendo até 2029 (BRASIL, 2022).

O cronograma tarifário estabelece que, a partir de 2023, as unidades de MMGD de até 500 kW pagarão 15% das componentes tarifárias referentes à remuneração dos ativos de distribuição, depreciação e custo de operação e manutenção. Esse percentual aumentará progressivamente, atingindo 30% em 2024,

45% em 2025, 60% em 2026, 75% em 2027 e 90% em 2028. A partir de 2029, as regras tarifárias seguirão conforme o artigo 17 da Lei (BRASIL, 2022).

Para a minigeração distribuída acima de 500 kW em fontes não-despacháveis, registradas como autoconsumo remoto ou geração junto à carga, o faturamento deverá considerar 100% das componentes tarifárias de distribuição e 40% das de transmissão até 2028. Unidades que solicitarem acesso entre o 13º e o 18º mês após a publicação da Lei terão regras tarifárias aplicáveis a partir de 2031 (BRASIL, 2022).

Um valor mínimo faturável é definido para os participantes do SCEE, com reduções específicas para microgeradores de baixa potência e para aqueles inscritos no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal (CadÚnico). A responsabilidade financeira pelas conexões é compartilhada entre as concessionárias e os consumidores-geradores, incluindo custos de ampliação e reforma de infraestrutura (BRASIL, 2022).

As concessionárias de distribuição são obrigadas a reajustar suas tarifas para refletir os custos associados à microgeração e minigeração distribuída, ao mesmo tempo em que devem considerar os benefícios proporcionados por essas modalidades de classificação, como redução de perdas e aumento da confiabilidade do sistema elétrico (BRASIL, 2022).

Essas resoluções normativas, assim como leis e decretos, são projetadas para equilibrar os incentivos à geração distribuída com a necessidade de garantir a sustentabilidade financeira e operacional do sistema elétrico, promovendo uma transição planejada e gradual para todos os agentes sociais e econômicos afetados.

2.3 Autoprodutor de energia

De acordo com o Decreto Nº 2.003, de 10 de setembro de 1996, o autoprodutor de energia (APE) é definido como uma pessoa física ou jurídica, ou um grupo de empresas que se unem em consórcio, que obtém uma concessão ou autorização para gerar energia elétrica com o objetivo de utilizá-la exclusivamente para seu próprio consumo. Isso significa que esses produtores criam sua própria fonte de energia, sem a intenção de vender o excedente no mercado, focando apenas em atender suas necessidades energéticas. (BRASIL, 1996)

Diferentemente da micro e minigeração distribuída, que opera estritamente dentro do mercado cativo, o autoprodutor de energia está inserido no contexto do mercado livre de energia. Os consumidores de energia elétrica podem ser classificados em duas categorias principais. A primeira categoria abrange aqueles que, por determinação governamental, estão obrigatoriamente vinculados à compra de energia exclusivamente da concessionária de distribuição à qual estão conectados. Essa classe inclui a maioria da população, como residências, estabelecimentos comerciais, pequenas indústrias e consumidores rurais, sendo conhecida como consumidores cativos. Esses indivíduos estão sujeitos às condições de fornecimento e às tarifas de energia definidas pela ANEEL (ABRACEEL, [2020]).

A segunda categoria é composta pelos consumidores denominados livres ou especiais. Esses consumidores desfrutam da liberdade de selecionar seu fornecedor de energia elétrica, possibilitando negociações mais flexíveis nas condições de contratação. Eles têm a capacidade de negociar e estabelecer acordos com seus fornecedores sobre diversos aspectos, como preço, prazo de fornecimento e local de entrega da energia, adequando-se assim às suas necessidades e preferências (ABRACEEL, [2020]).

Os consumidores que têm a possibilidade de se tornarem autoprodutores de energia pertencem, portanto, à segunda categoria, ou seja, aos consumidores livres. Contudo, é importante ressaltar que os consumidores cativos que atendem aos requisitos necessários também podem migrar para o Ambiente de Contratação Livre (ACL) e, assim, aderir a essa modalidade de produção de energia.

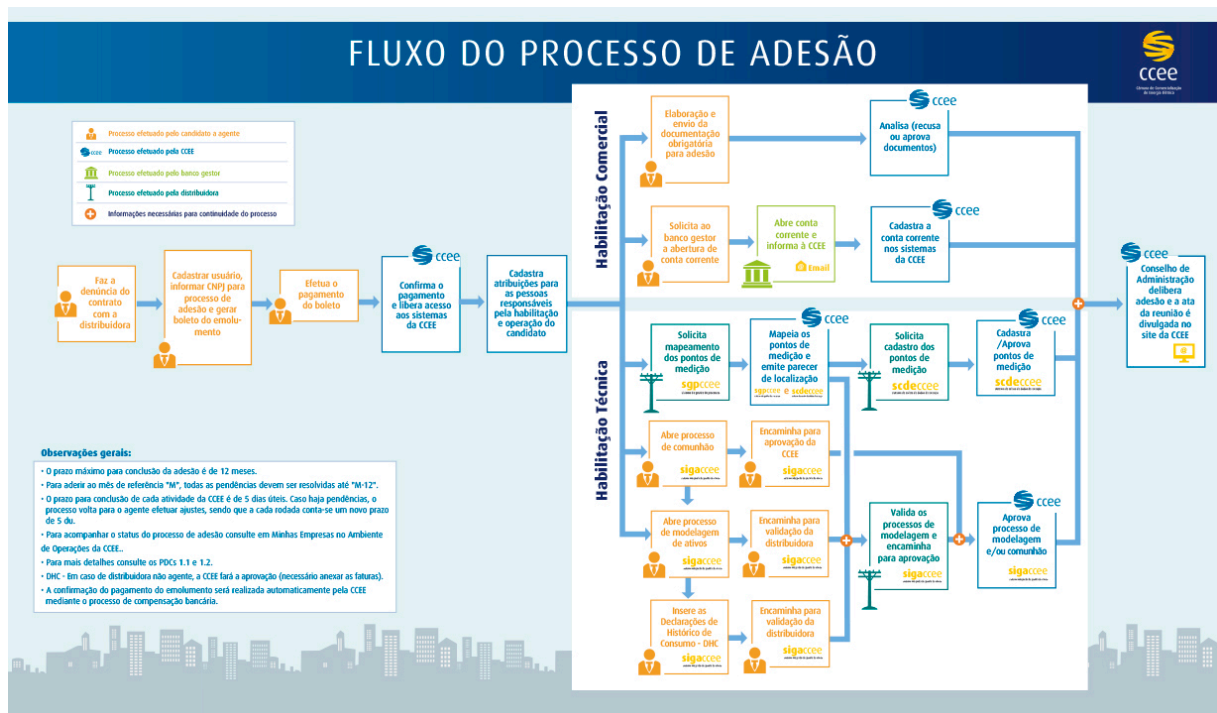
Desde 1º de janeiro de 2024, todos os consumidores classificados como Grupo A estão aptos a migrar para o Ambiente de Contratação Livre (ACL), conforme estabelecido pela Portaria Normativa Nº 50/GM/MME, de 27 de setembro de 2022. Essa mudança representa um marco significativo na desregulamentação do setor elétrico, permitindo que um número crescente de consumidores exerça sua liberdade de escolha em relação ao fornecimento de energia (MME, 2022a).

Além disso, a partir de 2026, conforme estipulado na Portaria Nº 690/GM/MME, de 29 de setembro de 2022, será iniciada a abertura do mercado para os consumidores classificados como Grupo B. Contudo, é importante ressaltar que os consumidores residenciais e rurais estão excluídos desta primeira fase de migração, tendo sua inclusão programada somente para 2028. Essa abordagem gradual reflete a necessidade de garantir uma transição ordenada e eficiente para todos os

segmentos de consumidores, assegurando que cada grupo tenha tempo e suporte adequados para se adaptar às novas condições do mercado (MME, 2022b).

Para atuar no ACL, o autoprodutor deve estar registrado como agente na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Isso envolve cumprir requisitos técnicos e financeiros, além de aderir às regras do mercado de energia elétrica (ABRACEEL, [2020]). A Figura 6 ilustra o processo de adesão na CCEE.

Figura 6 – Fluxo do processo de adesão à CCEE



Fonte: CCEE [2024].

O processo de adesão à CCEE tem início na data da confirmação do pagamento do respectivo emolumento. A partir deste momento, o candidato a agente deve realizar as demais atividades requeridas pelo sistema relacionadas ao seu processo de adesão dentro de um prazo de, no máximo, 12 meses (CCEE, [2024]).

O conceito da modalidade de autoprodutor de energia é significativamente distinto da modalidade de Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) no referente as fontes de energia utilizadas. No âmbito do Autoprodutor de Energia (APE) não existem restrições quanto ao tipo de fonte energética que pode ser empregada para a autoprodução, permitindo tanto o uso de fontes renováveis quanto fósseis. Além disso, a autoprodução não está sujeita a limites de potência instalada, proporcionando uma maior flexibilidade e liberdade para os autoprodutores em termos de escala e

tecnologia de geração energética. Essa característica do APE possibilita uma ampla diversidade de projetos, atendendo desde pequenas iniciativas até grandes empreendimentos industriais, sem as limitações impostas à MMGD (JOI, 2022).

2.3.1 Regulamentações e políticas da Geração Distribuída

A modalidade Autoprodutor de Energia (APE) foi regulamentada no Brasil pela Lei Nº 9.074, de 1995, e pelo Decreto Nº 2.003, de 1996. Recentemente, a Resolução Normativa Nº 921, de 2021, da ANEEL, também tratou desse tema, abordando aspectos relacionados à comercialização de energia.

A Lei Nº 9.074, de 7 de julho de 1995, estabelece diretrizes para concessões e permissões de serviços públicos, incluindo a energia elétrica. Essa Lei determina que a exploração de serviços e instalações elétricas deve ocorrer por meio de concessões, permissões ou autorizações, conforme a legislação vigente (BRASIL, 1995).

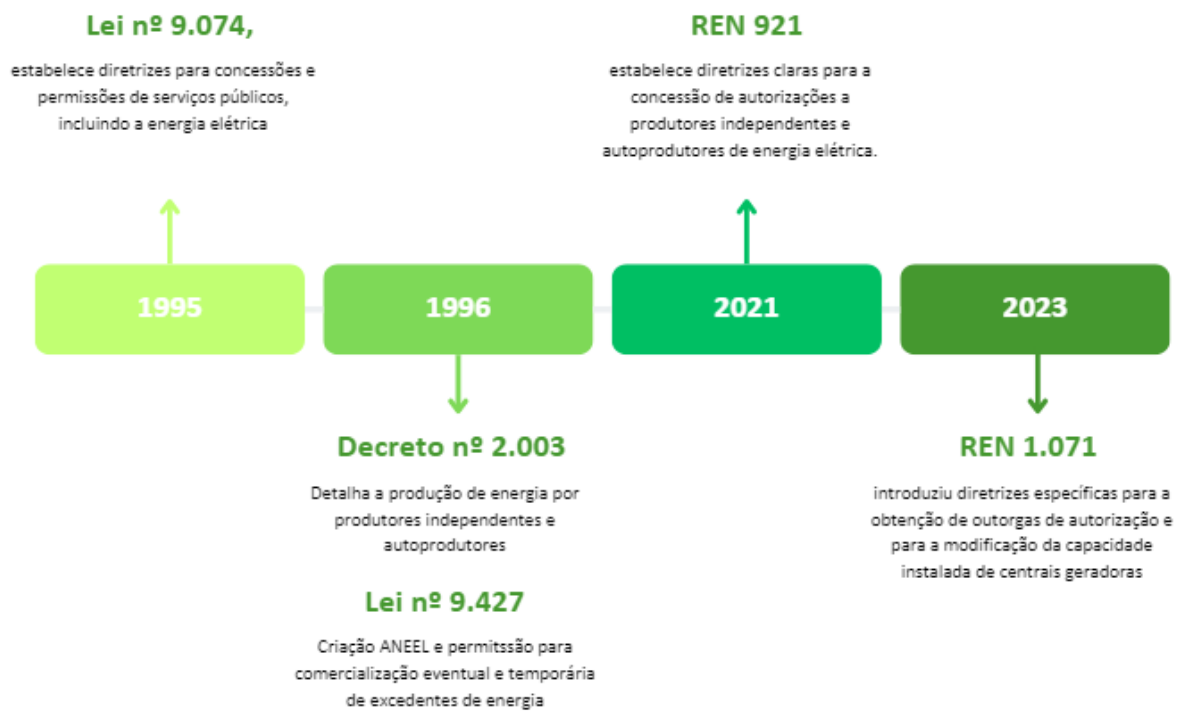
O Decreto Nº 2.003, de 10 de setembro de 1996, detalha a produção de energia por produtores independentes e autoprodutores. Esse decreto formou a base regulatória para a operação e comercialização de energia por produtores e autoprodutores, assegurando seu acesso aos sistemas de transmissão e distribuição, além de definir obrigações financeiras e operacionais (BRASIL, 1996a).

Ainda em 1996, a Lei Nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, criou a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Essa Lei conferiu à ANEEL a responsabilidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. No que diz respeito aos autoprodutores, a Lei permite a comercialização eventual e temporária de excedentes de energia. Para fomentar a competitividade, são oferecidas reduções tarifárias específicas a esses autoprodutores, promovendo uma maior integração no mercado energético e incentivando a autossuficiência (BRASIL, 1996b).

A Resolução Normativa Nº 921, de 2021, da ANEEL, reforçou essas disposições ao estabelecer diretrizes claras para a concessão de autorizações a produtores independentes e autoprodutores de energia elétrica. Essa resolução consolidou o marco regulatório existente, promovendo a eficiência no uso dos recursos energéticos e assegurando que os processos de autorização fossem transparentes e acessíveis (ANEEL, 2021).

Recentemente, a Resolução Normativa ANEEL Nº 1.071, de 2023, introduziu diretrizes específicas para a obtenção de outorgas de autorização e para a modificação da capacidade instalada de centrais geradoras que utilizam tecnologias diversas, como eólio elétrica, fotovoltaica, termoeletrica, híbrida e outras fontes (BRASIL, 2023). A Figura 7 ilustra as principais publicações regulatórias até 2024.

Figura 7 – Histórico das regulamentações do APE



Fonte: Elaboração própria (2024).

A normativa detalhou procedimentos para a associação de centrais geradoras, a comunicação de implantação de centrais com capacidade reduzida e a individualização de empreendimentos adjacentes, garantindo que a expansão do setor elétrico brasileiro ocorra de maneira ordenada e eficiente. Este conjunto de regulamentos busca não apenas consolidar a infraestrutura energética existente, mas também fomentar o desenvolvimento de novas tecnologias e fontes de energia no país.

2.4 Viabilidade financeira de projetos de energia fotovoltaica

A viabilidade financeira de projetos de energia fotovoltaica é um fator crucial para a sua adoção, especialmente considerando os investimentos significativos necessários para a instalação inicial.

Os projetos de energia fotovoltaica envolvem custos iniciais significativos, incluindo a aquisição de módulos fotovoltaicos, inversores, estruturas de montagem e, em alguns casos, baterias para armazenamento de energia. Além disso, os custos de instalação podem variar dependendo da localização geográfica, acessibilidade do site e regulamentações locais. No entanto, os avanços tecnológicos e a produção em larga escala têm contribuído para a diminuição gradual desses custos ao longo dos anos.

Os custos operacionais de sistemas fotovoltaicos são relativamente baixos, principalmente porque não há custo de combustível e a manutenção é mínima, uma vez que os sistemas fotovoltaicos têm poucas partes móveis. No entanto, é importante considerar os custos de limpeza dos módulos e substituição de componentes, como inversores, ao longo da vida útil do sistema.

Para avaliar a viabilidade financeira, utiliza-se uma análise de retorno sobre o investimento (ROI) que incorpora indicadores como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*.

O indicador VPL calcula o valor presente dos fluxos de caixa futuros esperados do projeto, descontados a uma taxa específica, conforme a Equação (1). Um VPL positivo sugere que o projeto gera mais valor do que o custo do capital investido (ASSAF NETO, 2009). A Equação 1 para realizar o cálculo do valor presente líquido é a seguinte:

$$VPL = \sum_{n=1}^j \frac{FC_n}{(1+i)^n} - FC_0 \quad (1)$$

Onde:

VPL: valor Presente Líquido [R\$]

FC0: investimento Inicial do Projeto [R\$]

i: taxa de desconto [%]

n: período de tempo [mês, ano, ...]

FCn: fluxo de caixa no período n

j: horizonte de tempo analisado [meses, anos, ...]

A TIR oferece uma medida da rentabilidade do projeto, indicando a taxa de retorno esperada, conforme (2). Caso a TIR exceder a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), o projeto é considerado viável (ASSAF NETO, 2009).

O cálculo da TIR é realizado por meio da Equação 2:

$$FC_0 = \sum_{n=1}^t \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Onde:

FC₀: valor do investimento no n=0 [R\$]

FC_n: fluxo de caixa no período n

i: taxa interna de retorno [%]

n: período de tempo [meses, anos, ...]

j: horizonte de tempo analisado [meses, anos, ...]

O período de *payback* representa o tempo necessário para recuperar o investimento inicial através do custo evitado ou da receita gerada. Projetos com períodos de *payback* mais curtos são geralmente preferidos, pois indicam menor risco financeiro (ASSAF NETO, 2009).

3 METODOLOGIA

Esta seção apresenta as premissas, os procedimentos e os métodos utilizados para conduzir a pesquisa, incluindo a coleta de dados, as técnicas de análise e os critérios adotados para avaliar os modelos de geração distribuída e autoprodução de energia fotovoltaica.

3.1 Tipo de pesquisa

Este estudo utiliza a pesquisa quantitativa analítica como metodologia principal. A escolha por esse tipo de pesquisa é devido à natureza dos objetivos do estudo, que demandam uma análise objetiva e precisa de dados numéricos. No contexto deste estudo, a pesquisa quantitativa permite a medição direta de variáveis financeiras e de desempenho energético, além de validar as hipóteses e identificar padrões de viabilidade financeira, custos e benefícios.

A característica analítica desta abordagem concentra-se em examinar comparativamente as relações de custo-benefício entre as modalidades de geração distribuída e autoprodução de energia fotovoltaica, permitindo uma avaliação dos investimentos.

A pesquisa quantitativa analítica possibilita um tratamento sistemático de dados financeiros, como custos de instalação, manutenção, retorno sobre o investimento e economia gerada, o que é essencial para uma interpretação dos fenômenos financeiros relacionados à geração de energia fotovoltaica. Assim, essa abordagem é adequada e confiável para responder às questões propostas: avaliar a viabilidade financeira e comparar as modalidades de geração distribuída e de autoprodução.

3.2 Coleta de dados

A fase de coleta de dados é essencial para a realização de um estudo de viabilidade, pois fornece as informações necessárias para uma análise do perfil de consumo do cliente. Este processo começa com a obtenção de informações sobre o cliente, muitas das quais estão disponíveis na fatura de energia de sua residência, comércio ou empresa. As informações cruciais incluem o histórico de consumo dos últimos 12 meses, que permite identificar padrões de uso e possíveis sazonalidades.

Além disso, o histórico de demanda medida dos últimos 12 meses, juntamente com a demanda contratada, oferece excelentes subsídios sobre as necessidades de capacidade da empresa.

É também fundamental saber qual é a distribuidora de energia elétrica responsável pelo fornecimento de energia elétrica, pois isso afeta as tarifas e condições de fornecimento. O preço atual de remuneração da energia elétrica é uma variável crítica na análise de viabilidade, influenciando diretamente os custos operacionais. O *score* de crédito do cliente pode determinar as opções de financiamento disponíveis para potenciais investimentos em eficiência energética ou geração própria, que não são considerados neste estudo.

A coleta de dados deve incluir a modalidade tarifária (Verde ou Azul), que impacta a estrutura de custos da eletricidade consumida, e o subgrupo de tensão (A1, A2, A3 ou A4), que define a categoria de fornecimento. Impostos, como ICMS e Pis/Cofins, também precisam ser considerados, pois afetam o custo total da eletricidade. Neste estudo é considerado um percentual fixo de acréscimo de 30% no valor da tarifa de eletricidade, que abarca os impostos.

Informações adicionais, como a existência de um gerador e o regime de trabalho (horário comercial, 24/7 ou outro), são relevantes para entender a flexibilidade e resiliência da operação energética da empresa. Em casos em que o histórico não está incluído nas faturas, é necessário solicitar essas informações diretamente à concessionária de eletricidade.

Além dos dados do cliente, é imperativo coletar dados de irradiação na região para estimar a produção de eletricidade pelo gerador fotovoltaico. Essa informação é essencial para prever a eficiência e o retorno de investimentos em sistemas fotovoltaicos, garantindo que a análise de viabilidade financeira seja abrangente e precisa.

Ademais, são admitidas as seguintes premissas para avaliação:

- a) taxa de simultaneidade;
- b) data prevista de conexão;
- c) vida útil do sistema fotovoltaico;
- d) taxa de degradação dos módulos; e
- e) reajuste anual tarifário.

Ao integrar todos esses elementos, o estudo de viabilidade financeira pode oferecer recomendações bem fundamentadas, alinhadas com as necessidades específicas do cliente e as condições do mercado energético.

3.2.1 Objeto de estudo

Neste estudo, será considerada uma Unidade Consumidora situada na região de Natal, no estado do Rio Grande do Norte. Inicialmente, foram coletados os dados da fatura de energia deste consumidor, que é atendido pela distribuidora local Neoenergia COSERN. A Figura 8 apresenta o valor total pago pelo consumidor em dezembro de 2023, antes da instalação da usina fotovoltaica (UFV) no local.

Figura 8 – Fatura de Energia sem UFV

REF:MÊS/ANO 12/2023	TOTAL A PAGAR R\$ 31.507,95
-------------------------------	---------------------------------------

Fonte: COSERN (2024).

A seguir, são listados os demais dados dispostos na fatura de eletricidade:

- a) Local: Natal/RN
- b) Classificação: Grupo A4 (comercial) Horo-sazonal Verde
- c) Tipo de Fornecimento: Trifásico
- d) Demanda contratada: 140 kW
- e) Média de consumo na Ponta: 2.875 kWh
- f) Média de consumo na Fora Ponta: 36.750 kWh

A fatura de energia elétrica é composta por diversas tarifas e encargos que refletem o custo de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia. Duas das principais tarifas que compõem essa fatura são a Tarifa de Energia (TE) e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). No Anexo A, são apresentadas as componentes tarifárias, expressas em R\$/MWh, da distribuidora Neoenergia COSERN. Esses dados foram publicados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) na Resolução Homologatória (REH) Nº 3.317, de 16 de abril de 2024.

A Tarifa de Energia (TE) refere-se ao custo da energia elétrica em si, ou seja, o valor referente a quantidade de eletricidade consumida. Este valor é determinado com base em contratos de compra de eletricidade, que podem ser

provenientes de fontes renováveis e não-renováveis. A TE é influenciada por diversos fatores, como o tipo de contrato, a fonte de energia, e as condições de mercado. Ademais, tem a função de remunerar os custos de geração de eletricidade e, em alguns casos, pode incluir encargos de comercialização (ANEEL, 2024).

A Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) remunera os custos associados ao uso da infraestrutura necessária para que a energia gerada possa ser entregue ao consumidor final. Isso inclui as redes de transmissão e distribuição, que são essenciais para transportar a energia das usinas até as residências, empresas e indústrias. A TUSD é dividida em várias componentes que refletem custos específicos tais como manutenção, operação e investimentos na rede elétrica, assim como subsídios e encargos regulatórios (ANEEL, 2024). A Tabela 2 detalha as componentes tarifárias que resultam no valor pago no final pelo consumidor na fatura de energia elétrica.

Tabela 2 – Composição da Tarifa de Energia

TARIFA DE ENERGIA					
TE		TUSD			
GERAÇÃO	ENCARGOS	FIO A	FIO B	ENCARGOS	PERDAS

Fonte: Elaboração própria (2024).

Além dessas tarifas básicas, a fatura de energia elétrica pode incluir outros encargos e tributos, como a Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), entre outros que variam de acordo com a legislação de cada região. Todas essas componentes juntas formam o valor total que o consumidor paga na fatura de energia elétrica, refletindo não apenas o custo da energia consumida, mas também o custo de toda a infraestrutura e serviços associados à entrega dessa energia de forma segura e contínua. (EQUATORIAL ENERGIA, 2024)

Neste trabalho utilizaremos as alíquotas presentes na fatura de energia elétrica da distribuidora Neoenergia COSERN, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Tributos incidentes na Fatura de Energia - Neoenergia COSERN

Tributos	Alíquota (%)
PIS	1,06%
COFINS	4,87%
ICMS	20,00%

Fonte: Elaboração própria (2024)

As condições ambientais, tais como as variações de temperatura e irradiância solar influenciam diretamente nas análises de resultado que as empresas de energia fotovoltaica fornecem a seus clientes. A grandeza física utilizada para mensurar a radiação solar é a irradiância, cuja unidade é expressa em W/m^2 . Na superfície da Terra, os valores típicos estão em torno de 1.000 W/m^2 , ao passo que, no ambiente extraterrestre, estimam-se valores 1.350 W/m^2 (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Ressalta-se que nas Condições Normais de Ensaio (STC) têm-se 1.000 W/m^2 , 25°C e $1,5 \text{ atm}$; sendo que a irradiância de 1.000 W/m^2 é o valor médio esperado em um dia claro de verão, na linha do equador na altitude da superfície do mar.

A Tabela 4 exibe a média da irradiação solar diária no plano inclinado para a região de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte. Os dados foram fornecidos pelo Centro de Referência para Energia fotovoltaica e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), cuja informação é fundamentada no Atlas Solarimétrico do Brasil de 2017. Os resultados apresentados são oriundos de coletas realizadas em estações solarimétricas distribuídas em diversos pontos do território brasileiro.

Tabela 4 – Média do Total Diário da Irradiação no Plano Inclinado ($\text{Wh/m}^2.\text{dia}$)

ID	Longitude	Latitude	Anual
50307	-35,249	-5,8005	5676

Fonte: CRESESB (2017).

3.3 Análise de dados

A análise envolveu a utilização de indicadores financeiros consagrados, como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*. Esses indicadores foram calculados considerando os custos iniciais de instalação, custos operacionais e manutenção, e as receitas geradas pela economia de eletricidade e possíveis vendas de excedente de energia.

Para o cálculo dos indicadores, utilizou-se a plataforma Piev¹, criada pela empresa catarinense Pieta Solutions LTDA, mais conhecida como Pieta.tech. Lançada em 2020, a plataforma foi desenvolvida com o objetivo de superar desafios no setor fotovoltaico e apoiar novos profissionais. O Piev integra, em um único ambiente, um sistema de *Customer Relationship Management* (CRM) para a gestão de clientes e projetos em andamento, além de oferecer um dimensionador e gerador de propostas, especialmente voltado para usinas de micro e minigeração distribuída.

Para realizar o dimensionamento e a análise financeira utilizando a plataforma Piev, são necessários apenas os dados obtidos a partir da fatura de energia elétrica do cliente, conforme Figura 9.

Figura 9 – Dados de entrada

INFOS DA UG	SISTEMA FV	EQUIPAMENTO	ANÁLISE FINANCEIRA
Estado		Rio Grande do Norte	
Cidade		Natal	
Distribuidora		Cosern	
Grupo Tarifário		A	
Subgrupo Tarifário		A4	
Tipo de Tarifação		Verde	
Tipo de Ligação		Trifásico	

Fonte: Clube Pieta (2024).

A principal vantagem de utilizar uma tecnologia como a apresentada na Figura 8 é a otimização da informação e cálculos. Isso ocorre, pois toda a base tarifária das distribuidoras de energia elétrica, assim como os índices de irradiação solar de cada localidade estão integrados e são atualizados periodicamente. Essa integração e atualização contínua garantem uma maior confiabilidade nas análises e projeções realizadas.

¹ Disponível em piev.com.br.

A modalidade tarifária horo-sazonal verde, utilizada nesta análise, estabelece uma demanda contratada constante ao longo do dia, independentemente dos horários de pico. Contudo, o custo associado ao transporte de energia durante os horários de pico é significativamente mais elevado. Isso reflete as exigências adicionais de infraestrutura e recursos durante esses períodos. A energia consumida no horário de ponta pode ter um custo mais de quatro vezes superior ao da energia utilizada fora desse período, incentivando os consumidores a ajustar seus hábitos de consumo para horários menos onerosos e, assim, maximizar as economias (DIAS, 2020).

Com base no banco de dados de irradiação, foram analisados os valores estimados de irradiação global horizontal e no plano inclinado para o local de instalação do sistema. A quantidade de eletricidade gerada varia principalmente em função de dois parâmetros: o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos e o desvio azimutal, que se refere ao desvio angular da face dos módulos em relação ao norte geográfico (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Para esta análise de viabilidade, será considerado o valor médio da irradiação incidente no local, proporcionando uma estimativa equilibrada do potencial de geração de energia ao longo do ano.

No capítulo 4, serão apresentados detalhadamente os resultados obtidos para as duas modalidades de geração analisadas: geração distribuída e autoprodução de energia. Esta análise incluirá uma comparação dos custos, economias e benefícios associados a cada modelo, proporcionando um auxílio à decisão sobre qual opção pode ser mais vantajosa para diferentes perfis de consumidores e investidores.

3.4 Limitações e premissas do estudo

O presente estudo considerou apenas o cenário ideal de irradiação solar, incidência solar na latitude da localização do objeto de estudo, sem considerar as variações sazonais que ocorrem ao longo do ano. A análise foi baseada na média anual de irradiação no plano inclinado, o que pode não refletir as flutuações mensais que influenciam a eficiência dos sistemas fotovoltaicos.

Além disso, não foi realizada uma análise detalhada do histórico mensal de consumo da Unidade Consumidora, optando por trabalhar com a média anual de consumo. Essa abordagem pode ocultar picos de demanda ou variações sazonais

que seriam relevantes para um dimensionamento mais preciso das soluções energéticas.

Outro aspecto importante é a necessidade de incluir informações qualitativas fornecidas pelo cliente, como planos futuros que envolvam mudanças na demanda energética, a introdução de novas linhas de produção ou a aquisição de equipamentos adicionais. Esses dados são cruciais para ajustar o estudo de viabilidade às necessidades futuras da empresa, assegurando que as soluções propostas sejam não apenas sustentáveis, mas também alinhadas com os objetivos estratégicos de longo prazo do cliente.

As premissas inseridas ou inclusas no software da Pieta.tech são:

- a) taxa de simultaneidade de 50%;
- b) data prevista de conexão posterior a 7 de janeiro de 2023;
- c) vida útil do sistema fotovoltaico: 25 anos;
- d) taxa de degradação dos módulos de 0,7% ao ano; e
- e) reajuste anual tarifário de 4% ao ano.

4 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA

A Análise Econômico-financeira explora as diferenças entre os modelos de geração distribuída e de autoprodução de energia fotovoltaica, avaliando suas vantagens, desvantagens e a adequação a diferentes perfis de consumo. Considerando fatores econômicos, técnicos e regulatórios, esta análise ajuda determinar a opção mais eficiente para cada investidor ou consumidor.

4.1 Geração distribuída

A geração distribuída refere-se à produção descentralizada de energia elétrica próxima ao local de consumo. Esta seção analisa os principais fatores que afetam a viabilidade e a atratividade desse modelo.

4.1.1 Custos iniciais de implantação

Para definir os custos iniciais de implantação, é fundamental, em primeiro lugar, dimensionar a potência necessária para atender à demanda do cliente. Com base nos resultados obtidos pela plataforma Piev, a potência de geração limitada à demanda contratada do cliente foi de 259,90 kWp, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Dimensionamento do Sistema FV

INFOS DA UG	SISTEMA FV	EQUIPAMENTO	ANÁLISE FINANCEIRA
Potência	259,90 kWp		
Área	1.641,60 m ²		
Geração Média Mensal (1º Ano)	31.594,00 kWh		
Modalidade de Geração	Geração Junto à Carga		

Fonte: Clube Pieta (2024).

Diante dessas informações, elabora-se um orçamento em uma fornecedora de equipamentos para um *kit* fotovoltaico que atenda aos requisitos de potência e tensão necessários, conforme Figura 11.

Figura 11 – Ordem de Produção do *Kit* Fotovoltaico

ORDEM DE PRODUÇÃO		PROPOSTA COMERCIAL 2024_TFSS_027.611_01			
EMISSÃO 2/28/2024 3:40:37 PM Hs		PROTOCOLO 027.611			
Cliente/Comprador: CPF/CNPJ: Integrador: Contato: Telefone: Email: Endereço de Entrega:		Vendedor: Email vendas: Telefone: Sug.Faturamento:			
		Observações Gerais: Seguro All Risk: Seguro Engenharia: Garantia Estendida:			
ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE (un)	COD.TOTVS	DESCRIÇÃO TOTVS	PESO UNIT (Kg)
1	PAR CONECTOR MC4 TRINA TS4PLUS	72	70810020	PAR CONECTOR MC4 TRINA TS4PLUS	0.02
2	MODUL TRINA TSM-DE19R 575 30MM	453	70111232	MODUL TRINA TSM-DE19R 575 30MM	30.32
3	INVERSOR SUNGROW SG110CX-P2	1	70021031	INVERSOR SUNGROW SG110CX-P2	0.00
4	INVERSOR SUNGROW SG75CX-P2	1	70021030	INVERSOR SUNGROW SG75CX-P2	03.68
5	CABO FOTOVOLTAICO 6MM² VERMELHO	850	70800000	CB SOLAR 6MM 1KV C5 NBL VM	0.08
6	CABO FOTOVOLTAICO 6MM² PRETO	850	70800001	CB SOLAR 6MM 1KV C5 NBL PR	0.08
7	SG PERFIL PLANO SMART 0.50M	982	70412016	SG PERFIL PLANO SMART 0.50M	0.32
8	SG GRAMPO INTERMED SMART	832	70412013	SG GRAMPO INTERMED SMART	0.05
9	SG GRAMPO TERMINAL SMART	154	70412014	SG GRAMPO TERMINAL SMART	0.05
10	SG PARAFUSO INOX AUTOBROCANTE	5052	70410009	SG PARAFUSO INOX AUTOBROCANTE	0.05
11	SG ESPUMA EDPM 5M	43	70410011	SG ESPUMA EDPM 5M	0.32
Modal: CIF NCM: 8501.72.90 GERADOR FOTOVOLTAICO 260.48 KWp // TOTAL DE ITEMS: 10,190 unidades Potência: 260.48 KWp Total da Proposta: R\$ 304,048.00 Frete: INCLUSO Peso Bruto: 14640.98 Kg Condições Pgto: (PRE) PRE-VENDA // MARGEM SACRIFICADA Peso Líquido: 13926.52 Kg					

Fonte: AmaraNZero (2024).

Diante disso, o custo inicial de implantação seria composto pelo custo dos equipamentos e da mão de obra para a instalação, que neste caso considera-se 15% do valor do gerador fotovoltaico, ou seja, R\$ 349.655,20 (trezentos e quarenta e nove mil seiscientos e cinquenta e cinco reais e vinte centavos).

Os custos iniciais de implantação para geração distribuída podem variar significativamente, dependendo do tamanho do sistema e das condições locais. No entanto, os sistemas de geração distribuída geralmente exigem um investimento inicial menor em comparação com grandes usinas de autoprodução, tornando-os mais acessíveis para pequenos e médios consumidores, como residências e pequenas empresas.

4.1.2 Manutenção e operação

Os sistemas de geração distribuída são conhecidos por seus baixos custos operacionais, devido à simplicidade de manutenção e à ausência de combustíveis. A manutenção regular, como a limpeza dos módulos fotovoltaicos e a verificação dos inversores, é relativamente simples e pode ser gerenciada facilmente.

4.1.3 Economia gerada

Na análise financeira, considerou-se o pagamento à vista do investimento inicial, resultando em taxas de retorno mais atrativas e períodos de *payback* reduzidos. A Figura 12 apresenta os resultados obtidos.

Figura 12 – Análise financeira de MMGD

INFOS DA UG	SISTEMA FV	EQUIPAMENTO	ANÁLISE FINANCEIRA
À Vista ⓘ			
Valor do Sistema		R\$ 349.655,20	
Fatura Média Mensal sem FV (1º ano)		R\$ 33.355,77	
Fatura Média Mensal com FV (1º ano)		R\$ 17.382,55	
TIR ⓘ		124,95 %	
Payback ⓘ		1,83 Anos	
VPL ⓘ		R\$ 2.955.688,33	

Fonte: Clube Pieta (2024).

A economia gerada pela geração distribuída é verificada, principalmente, na redução das contas de energia elétrica. Consumidores que adotam este modelo podem se beneficiar de tarifas reduzidas e, em alguns casos, vender o excedente de energia para a rede elétrica, aumentando ainda mais a economia.

4.1.4 Incentivos e subsídios

Os governos e/ou Estados frequentemente promovem a geração distribuída por meio de políticas de *net metering* e subsídios diretos, que podem reduzir significativamente o tempo de retorno sobre o investimento e aumentar a atratividade econômica desse modelo. No caso da Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), desde a publicação da primeira Resolução Normativa (REN 482/2012), sempre houve incentivos por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e isenções de alguns componentes tarifários, como ocorre no estado de Minas Gerais.

4.2 Autoprodutor de energia

O modelo de autoprodução envolve a geração de energia para consumo próprio, geralmente em uma escala maior, adequada para grandes consumidores industriais e comerciais.

4.2.1 Custos iniciais de implantação

Os custos iniciais para autoprodução tendem a ser mais elevados devido à maior escala dos projetos e à complexidade das instalações. No entanto, para grandes consumidores, esses custos podem ser justificados pelo volume de energia gerada e pela independência energética obtida.

No caso do consumidor analisado neste estudo, os custos de implementação seriam semelhantes aos da geração distribuída, acrescidos apenas dos custos associados à migração para o Mercado Livre de Energia. Esses custos incluem a taxa de abertura de conta na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e a adequação do sistema de medição, totalizando aproximadamente R\$ 30.000,00 (trinta mil reais).

Portanto, o custo inicial total para implantação de autoprodução de energia seria aproximadamente R\$ 384.155,20 (trezentos e oitenta e quatro mil cento e cinquenta e cinco reais e vinte centavos).

4.2.2 Manutenção e operação

Os custos de manutenção e operação de autoprodução de energia (APE) englobam diversos aspectos essenciais para assegurar o funcionamento eficiente e contínuo das instalações. Entre os custos que diferem dos sistemas conectados na Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) estão a gestão de contratos, realizados mensalmente com a comercializadora de energia, além das taxas e licenças necessárias para a renovação das licenças de operação e quaisquer impostos aplicáveis.

Embora os custos de manutenção possam ser mais elevados devido à escala e complexidade dos sistemas, a autoprodução oferece a vantagem de um maior controle sobre a geração de energia. Isso pode resultar em uma eficiência operacional aprimorada e em economias de custo a longo prazo.

4.2.3 Economia gerada

Para calcular a economia gerada pela Autoprodução de Energia (APE), é fundamental considerar a migração para o Mercado Livre de Energia. No entanto, essa transição pode suscitar dúvidas, especialmente em relação ao formato da fatura de eletricidade, que é diferente do observado no Mercado Cativo.

No Mercado Livre, o consumidor estabelece um contrato de comercialização de energia elétrica com o fornecedor de sua escolha, definindo termos como a quantidade de energia, valores de reajuste e o período de vigência. É possível ainda firmar múltiplos contratos com diferentes fornecedores, adaptando-se melhor às necessidades específicas da empresa (PREMIUM SOLUTION, 2024).

Os consumidores no Mercado Livre recebem pelo menos duas faturas mensais: uma do fornecedor de energia escolhido e outra da distribuidora local, responsável pela distribuição e manutenção da rede elétrica. Essas faturas são emitidas separadamente, mesmo que provenham da mesma empresa. Além disso, há encargos à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), geralmente administrados por meio de uma conta de custódia, em que os valores são debitados conforme a demanda (PREMIUM SOLUTION, 2024).

Atualmente, existem plataformas que simulam a viabilidade financeira no Mercado Livre, considerando as oscilações dos componentes tarifários específicos

deste segmento. No entanto, essas plataformas são, em grande parte, controladas exclusivamente pelas comercializadoras de energia.

Como exemplo, realizou-se uma simulação da economia potencial para o consumidor em estudo utilizando a plataforma da Engie Brasil. Os resultados indicaram uma economia estimada de aproximadamente 30% na fatura mensal de energia.

Com base nesses dados, foram aplicadas as fórmulas de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback*. Os resultados dessas análises estão detalhados na Tabela 5.

Tabela 5 – Análise Financeira para o APE

À Vista				
Valor do Investimento		R\$	384.155,20	
Fatura média mensal no 1º ano				
Sem FV:	R\$	31.822,32	TIR:	45,02%
Com FV:	R\$	22.275,62	Payback:	3,25
			VPL:	R\$ 1.016.594,95

Fonte: Elaboração própria (2024).

Embora o retorno seja positivo, os valores obtidos pela Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) mostram-se ainda mais atrativos. No entanto, a autoprodução oferece uma economia substancial, especialmente para grandes consumidores. Isso ocorre em virtude da capacidade de evitar tarifas elevadas de energia e, em alguns casos, à possibilidade de vender ou negociar o excedente de energia no Mercado Livre.

4.2.4 Incentivos e subsídios

Os autoprodutores de energia no Brasil contam com diversos incentivos e subsídios para estimular a geração própria de energia. Esses incentivos são fundamentais para tornar a autoprodução uma opção viável e atraente. Entre os principais incentivos, destacam-se a redução ou isenção de Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) e Distribuição (TUSD). Além disso, a Lei Nº 9.074/1995 e a Lei Nº 9.427/1996 fornecem o arcabouço legal para a autoprodução, estabelecendo diretrizes para a concessão de autorizações e incentivando o uso de fontes renováveis.

Esses incentivos ajudam a criar um ambiente favorável para a autoprodução de energia, promovendo a sustentabilidade e a redução de custos para os grandes consumidores.

4.3 Comparação entre os dois modelos

A viabilidade econômico-financeira dos projetos de energia fotovoltaica depende de uma combinação de fatores, incluindo custos de instalação, economias operacionais, incentivos governamentais e condições regulatórias. Ao analisar esses elementos de maneira abrangente, investidores e tomadores de decisão podem identificar oportunidades vantajosas para explorar o potencial da energia fotovoltaica como uma solução sustentável e economicamente viável. A Tabela 6 traz a consolidação dos resultados obtidos.

Tabela 6 – Comparação entre os dois modelos

Indicadores	Geração Distribuída	Autoprodutor de Energia
VPL	R\$ 2.955.688,33	R\$ 1.016.594,95
TIR	124,95%	45,02%
Payback	1,83 anos	3,25 anos

Fonte: Elaboração própria (2024).

Os resultados indicaram que a geração distribuída oferece vantagens para consumidores residenciais e pequenas empresas devido à simplicidade regulatória e aos incentivos financeiros.

Conquanto, o modelo de autoprodutor de energia é mais adequado para grandes empresas e indústrias, onde a escala do projeto pode justificar os custos iniciais elevados e permitir maior independência energética. A possibilidade de comercializar o excedente de eletricidade gerada também adiciona um valor significativo ao retorno econômico.

A análise de dados destaca que ambos os modelos são economicamente viáveis, mas a escolha ideal depende do perfil de consumo e das necessidades específicas do investidor. O estudo sugere que políticas públicas e incentivos

governamentais continuam a desempenhar um papel crucial na promoção da energia fotovoltaica como uma solução sustentável e economicamente atraente.

5 CONCLUSÃO

O estudo desenvolvido buscou fornecer uma análise comparativa da viabilidade econômico-financeira entre a geração distribuída e o autoprodutor de energia fotovoltaica, considerando diferentes perfis de consumo e cenários de investimento. A partir da aplicação de ferramentas financeiras, como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*, foi possível avaliar com clareza as vantagens e desvantagens de cada modalidade em termos de custo-benefício e retorno sobre o investimento.

A análise realizada neste estudo evidenciou que a viabilidade financeira dos projetos de energia fotovoltaica é influenciada por diversos fatores, como os custos de instalação, as economias operacionais, os incentivos governamentais e as condições regulatórias. Esses fatores desempenham um papel decisivo na determinação do retorno financeiro e na atratividade dos investimentos em energia fotovoltaica, destacando a importância de uma avaliação criteriosa para identificar as melhores oportunidades.

Os resultados indicam que a geração distribuída apresenta uma proposta atraente para consumidores residenciais e pequenas empresas, especialmente devido à simplicidade do processo regulatório e aos incentivos financeiros oferecidos. Esses fatores tornam esse modelo mais acessível e viável para pequenos consumidores que buscam reduzir custos com eletricidade sem a necessidade de grandes investimentos iniciais.

O autoprodutor de energia é uma alternativa mais atraente para grandes indústrias, devido aos altos custos de eletricidade ofertados pelas concessionárias de energia elétrica. A opção de autoprodução permite uma maior autonomia das grandes empresas para gerar sua própria energia e reduzir custos com eletricidade e a dependência das concessionárias de distribuição, possibilitando ainda uma nova fonte de renda com a venda do excedente da eletricidade gerada.

A escolha entre geração distribuída e autoprodução depende, portanto, do perfil de consumo e das necessidades específicas do investidor. Enquanto pequenos consumidores podem se beneficiar da simplicidade e economia imediata oferecida pela geração distribuída, grandes empresas encontram na autoprodução uma solução mais robusta e flexível, capaz de proporcionar maior autonomia e independência energética.

Por fim, o estudo reforça a importância de políticas públicas e incentivos governamentais na promoção da energia fotovoltaica. Esses estímulos são essenciais para garantir a viabilidade econômica e acelerar a adoção dessa tecnologia, contribuindo para a construção de uma matriz energética mais sustentável e econômica. Ao apoiar o crescimento da energia fotovoltaica, os governos podem promover a transição para uma economia de baixo carbono, fortalecendo tanto a sustentabilidade ambiental quanto o desenvolvimento econômico.

Este estudo não pretende esgotar o tema, mas contribuir ao aprofundar o conhecimento sobre a viabilidade econômico-financeira de alternativas sustentáveis, como a energia fotovoltaica, e para orientar tanto investidores quanto formuladores de políticas públicas. Ao fornecer uma análise detalhada das diferentes opções de geração de energia fotovoltaica, este trabalho contribui para a tomada de decisões mais conscientes, ajudando a maximizar o aproveitamento das oportunidades no setor de energia renovável. Além disso, pesquisas dessa natureza são cruciais no incentivo à transição para fontes energéticas limpas e eficientes, fortalecendo o desenvolvimento de recursos inovadores que atendam às necessidades ambientais e econômicas do futuro.

Sugere-se como tema futuro de pesquisa a análise dos cenários de MMGD e APE para o horizonte de 2028, considerando a abertura do mercado livre de energia a todos os consumidores. Este estudo é de grande relevância, pois permitirá identificar melhorias e desenvolver novos incentivos que possam estimular a adesão de usinas fotovoltaicas por esses grupos.

REFERÊNCIAS

ABRACEEL. Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. **Cartilha do Consumidor livre de energia**. Brasília, DF: [2020]. Disponível em: <https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/post/2020/10/Cartilha-do-Consumidor-Livre-3.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

AMARA Nzero. Salvador, 2023. Disponível em: <https://app.amaranzero.com.br/>. Acesso em: 13 set. 2023.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Homologatória nº 3.317, de 16 de abril de 2024**. Brasília, DF: ANEEL, 2024. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20243317ti.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. [Brasília, DF]: ANEEL, 19 set. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2024.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 786, de 17 de outubro de 2017**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa ANEEL nº 921, de 23 de fevereiro de 2021**. Brasília, DF: ANEEL, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021921.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa ANEEL nº 1.071, de 29 de agosto de 2023**. Brasília, DF: ANEEL, 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231071.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

ASSAF NETO, A. **Matemática Financeira e Suas Aplicações**. 11 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

BRASIL. **Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996**. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, [1996]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2003.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%202.003%2C%20DE%2010,Autoprodutor%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias. Acesso em: 13 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Secretaria-Geral, 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 12 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995**. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, [1998]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9074cons.htm. Acesso em: 13 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, [1998]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9427cons.htm. Acesso em: 13 set. 2024.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2020**: ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco-energetico-nacional/anteriores/2-balanco-energetico-nacional-ben/2-1-ben-2018-documento-completo-em-portugues-ingles-pdf-1.pdf/view>. Acesso em: 13 set. 2024.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano nacional de energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/Relat%C3%B3rio%20final%20PNE%202030.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano nacional de energia 2050**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

CCEE. CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Adesão. **ccee**. São Paulo, [2024]. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/mercado/adesao>. Acesso em: 13 set. 2024.

CRESESB. CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA FOTOVOLTAICA E EÓLICA SÉRGIO BRITO. Potencial Solar - SunData v 3.0. **CRESESB**, 25 jan. 2018. Disponível em: <https://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 02 set. 2024.

CLUBE PIETA. **Clube Pieta**: propostas. [2024]. Disponível em: <https://piev.com.br/>. Acesso em: 13 set. 2024.

DIAS, Ricardo. Enquadramento Tarifário Azul vs. Verde: qual o melhor? **Cubi energia**, 14 jan. 2020. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/enquadramento-tarifario-azul-verde/>. Acesso em: 03 set. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Síntese 2024**: Ano base 2023. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 13 set. 2024.

EQUATORIAL ENERGIA. **Como é calculada minha conta de luz?** [2024]. Disponível em: <https://pa.equatorialenergia.com.br/sua-conta/grafico-sua-conta/>. Acesso em: 02 set. 2024.

JOI. Autoprodução de Energia: Opção para o Grande Consumidor Gerar sua Própria Energia. **energês**, 16 mar. 2022. Disponível em: <https://energes.com.br/autoproducao-de-energia/>. Acesso em: 02 set. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Energia do vento é considerada uma das mais limpas e baratas do mundo. **gov.br**. Brasília, DF, 06 nov. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/energia-do-vento-e-considerada-uma-das-mais-limpas-e-baratas-do-mundo>. Acesso em 13 set. 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Portaria normativa nº 50/GM/MME, de 27 de setembro de 2022**. Brasília, DF: Consultoria Jurídica, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/acao-a-informacao/legislacao/portarias/2022/portaria-normativa-n-50-gm-mme-2022.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Portaria normativa nº 690/GM/MME, de 29 de setembro de 2022**. Brasília, DF: Consultoria Jurídica, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/acao-a-informacao/legislacao/portarias/2022/portaria-n-690-gm-mme-2022.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

PREMIUM SOLUTION. **Como fica a fatura de energia no mercado livre?** 03 jan. 2024. Disponível em: <https://premiumsolution.com.br/como-fica-a-fatura-de-energia-no-mercado-livre/>. Acesso em: 02 set. 2024.

UNITED NATIONS. What is renewable energy? **Climate Action**, [202-?]. Disponível em: https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwzby1BhCQARIsAJ_0t5NaWbMgPdu1FtM2PGBuJxVUXUQ4i0iuhQ-2DCzrVI37WcK4SdFCefgaAoVNEALw_wcB. Acesso em: 04 set. 2024.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia fotovoltaica fotovoltaica: conceitos e aplicações**: sistemas isolados e conectados à rede. São Paulo: Érica, 2012.

ZILLES, Roberto *et al.* **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de texto, 2012.

ANEXO A – Tarifas de Energia - Neoenergia COSERN

Subgrupo	Modalidade	Acessante	Posto	Tarifas de Aplicação			Base Econômica		
				TUSD		TE	TUSD		TE
				R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
A2 (88 a 138 kV)	AZUL	Não se aplica	P	25,87	43,59	513,22	24,62	45,26	478,91
			FP	12,26	43,59	313,75	11,16	45,26	292,34
	AZUL APE	Não se aplica	P	25,87	8,40	0,00	24,62	7,92	0,00
			FP	12,26	8,40	0,00	11,16	7,92	0,00
	SCEE AZUL	Não se aplica	P	25,87	43,59	39,09	24,62	45,26	33,22
			FP	12,26	43,59	39,09	11,16	45,26	33,22
	Geração	EOL MANGUE SECO III	NA	3,70	0,00	0,00	3,32	0,00	0,00
		EOL MANGUE SECO II	NA	3,70	0,00	0,00	3,32	0,00	0,00
		EOL MANGUE SECO I	NA	3,70	0,00	0,00	3,32	0,00	0,00
		EOL MANGUE SECO V	NA	3,70	0,00	0,00	3,32	0,00	0,00
		UFV ASSU V	NA	3,65	0,00	0,00	3,28	0,00	0,00
		EOL SANTA ROSA MUNDO NOVO I	NA	2,39	0,00	0,00	2,39	0,00	0,00
		EOL SANTA ROSA MUNDO NOVO II	NA	2,39	0,00	0,00	2,39	0,00	0,00
		EOL SANTA ROSA MUNDO NOVO III	NA	2,39	0,00	0,00	2,39	0,00	0,00
		EOL SANTA ROSA MUNDO NOVO IV	NA	2,59	0,00	0,00	2,59	0,00	0,00
		EOL SANTA ROSA	NA	2,57	0,00	0,00	2,57	0,00	0,00

Subgrupo	Modalidade	Acessante	Posto	Tarifas de Aplicação			Base Econômica		
				TUSD		TE	TUSD		TE
				R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
		MUNDO NOVO V							
		NOVO GERADOR	NA	2,58	0,00	0,00	2,42	0,00	0,00
A3 (69 kV)	AZUL	Não se aplica	P	28,98	44,28	513,22	27,46	45,90	478,91
			FP	15,31	44,28	314,75	14,09	45,90	292,34
	AZUL APE	Não se aplica	P	28,98	9,09	0,00	27,46	8,57	0,00
			FP	15,31	9,09	0,00	14,09	8,57	0,00
	SCEE AZUL	Não se aplica	P	28,98	44,28	39,09	27,46	45,90	33,22
			FP	15,31	44,28	39,09	14,09	45,90	33,22
	Geração	Não se aplica	NA	7,56	0,00	0,00	7,58	0,00	0,00
A4 (2,3 a 25 kV)	AZUL	Não se aplica	P	74,72	73,02	514,36	73,63	74,23	480,08
			FP	31,30	73,02	315,89	30,16	74,23	293,51
	AZUL APE	Não se aplica	P	74,72	24,66	0,00	73,63	23,30	0,00
			FP	31,30	24,66	0,00	30,16	23,30	0,00
	SCEE AZUL	Não se aplica	P	74,72	73,02	40,23	73,63	74,23	34,39
			FP	31,30	73,02	40,23	30,16	74,23	34,39
	VERDE	Não se aplica	NA	31,30	0,00	0,00	30,16	0,00	0,00
			P	0,00	1.889,68	514,36	0,00	1.864,91	480,08
			FP	0,00	73,02	315,89	0,00	74,23	293,51
	VERDE APE	Não se aplica	NA	31,30	0,00	0,00	30,16	0,00	0,00
			P	0,00	1.841,33	0,00	0,00	1.813,97	0,00
			FP	0,00	24,66	0,00	0,00	23,30	0,00
	SCEE VERDE	Não se aplica	NA	31,30	0,00	0,00	30,16	0,00	0,00
			P	0,00	1.889,68	40,23	0,00	1.864,91	34,39
			FP	0,00	73,02	40,23	0,00	74,23	34,39
	Distribuição	Energisa PB	P	37,80	19,97	0,00	35,89	18,56	0,00
			FP	19,69	19,97	0,00	18,20	18,56	0,00
			NA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Subgrupo	Modalidade	Acessante	Posto	Tarifas de Aplicação			Base Econômica		
				TUSD		TE	TUSD		TE
				R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
	Geração	Não se aplica	NA	14,61	0,00	0,00	14,76	0,00	0,00

Fonte: ANEEL (2024).