

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA AMBIENTAL**

LUCAS TURATTI FAHIM ISSA

**ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM
EMPREENHIMENTO COMERCIAL NA CIDADE DE FRANCA-SP**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2025

LUCAS TURATTI FAHIM ISSA

**ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM
EMPREENHIMENTO COMERCIAL NA CIDADE DE FRANCA-SP**

**STUDY OF THE IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN A
COMMERCIAL ENTERPRISE IN THE CITY OF FRANCA-SP**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Maria Cristina Rodrigues Halmeman

CAMPO MOURÃO

2025



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

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUCAS TURATTI FAHIM ISSA

**ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM
EMPREENHIMENTO COMERCIAL NA CIDADE DE FRANCA-SP**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 10 de fevereiro de 2025

Maria Cristina Rodrigues Halmeman
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Radames Juliano Halmeman
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Hilário Delconte Ferreira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2025

RESUMO

ISSA, Lucas Turatti Fahim. **ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM EMPREENDIMENTO COMERCIAL NA CIDADE DE FRANCA-SP**. 2025. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2025.

O uso de energia solar fotovoltaica tem se mostrado uma alternativa crescente e viável tanto no Brasil quanto em outros locais, impulsionado pela demanda crescente por energia e os elevados custos das tarifas elétricas. O Brasil, com seu alto índice de radiação solar, oferece grande potencial para a geração dessa energia renovável, que se destaca por sua sustentabilidade e baixo impacto ambiental. A energia fotovoltaica tem se consolidado como uma solução eficiente e limpa, que pode ser integrada a sistemas urbanos e rurais, reduzindo significativamente os custos com eletricidade. Neste estudo, foram analisados três orçamentos de empresas da cidade para a implementação de um sistema fotovoltaico, considerando a demanda energética identificada a partir da análise de faturas de eletricidade. Com base nesses dados, foram avaliados os valores propostos, a capacidade de geração de energia e o retorno financeiro de cada proposta, a fim de indicar a alternativa mais vantajosa. Estudos de viabilidade técnica e econômica indicam que a implantação de sistemas fotovoltaicos oferece retornos financeiros atrativos, com *payback*s relativamente curtos, em torno de 3,6 anos, e altas Taxas Internas de Retorno (TIR). No contexto urbano, a instalação desses sistemas em residências e empreendimentos comerciais tem se mostrado uma solução eficaz, especialmente em bairros com alta demanda e boa incidência solar. Em propriedades rurais, os benefícios também são evidentes, com a redução de custos energéticos sendo um atrativo adicional para os agricultores. Além disso, o mercado de sistemas fotovoltaicos no Brasil tem sido estimulado por novos incentivos governamentais e regulamentações, facilitando a adesão de empreendimentos comerciais e condomínios à geração distribuída. Estudos econômicos realizados em propriedades rurais e edifícios comerciais confirmam que os investimentos em sistemas fotovoltaicos são financeiramente viáveis, proporcionando bom retorno sobre o investimento e contribuindo significativamente para a sustentabilidade energética a longo prazo.

Palavras-chave: Baixo impacto ambiental. Demanda energética. Energia renovável. Radiação solar. Sustentabilidade.

ABSTRACT

ISSA, Lucas Turatti Fahim. **STUDY OF THE IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN A COMMERCIAL ENTERPRISE IN THE CITY OF FRANCA-SP**. 2025. 53f. Course Completion Work – Engineering Ambiental. Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2025.

The use of photovoltaic solar energy has proven to be an increasingly viable alternative both in Brazil and other locations, driven by the growing demand for energy and the high costs of electricity tariffs. Brazil, with its high solar radiation levels, offers great potential for the generation of this renewable energy, which stands out for its sustainability and low environmental impact. Photovoltaic energy has established itself as an efficient and clean solution that can be integrated into urban and rural systems, significantly reducing electricity costs. In this study, three quotes from local companies were analyzed for the implementation of a photovoltaic system, considering the energy demand identified through the analysis of electricity bills. Based on this data, the proposed values, energy generation capacity, and financial return of each proposal were evaluated to determine the most advantageous option. Technical and economic feasibility studies indicate that implementing photovoltaic systems offers attractive financial returns, with relatively short *payback* periods of around 3.6 years and high Internal Rates of Return (IRR). In urban areas, installing these systems in residential and commercial enterprises has proven to be an effective solution, especially in neighborhoods with high demand and good solar incidence. In rural properties, the benefits are also evident, with energy cost reductions being an additional attraction for farmers. Furthermore, the photovoltaic systems market in Brazil has been stimulated by new government incentives and regulations, facilitating the adoption of commercial enterprises and condominiums into distributed generation. Economic studies conducted in rural properties and commercial buildings confirm that investments in photovoltaic systems are financially viable, providing a good return on investment and significantly contributing to long-term energy sustainability.

Keywords: Low environmental impact. Energy demand. Renewable energy. Solar radiation. Sustainability..

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil	19
Figura 2 - Matriz Energética Brasileira	20
Figura 3 - Painel Fotovoltaico	21
Figura 4 - Sistema fotovoltaico autônomo	25
Figura 5 - Sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição	26
Figura 6 - Sistema híbrido solar-eólico-diesel	27
Figura 7 - Descrições de modalidades de geração de energia	29
Figura 8 - Município de Franca - SP.....	36
Figura 9 - Fluxograma da metodologia aplicada	37
Figura 10 - Comportamento do indicador de retorno financeiro com relação aos anos	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios estabelecidos para a Análise	38
Quadro 2 - Informações sobre tarifas para cálculo do payback descontado	41
Quadro 3 - Equipamentos e serviços apresentados no orçamento para as empresas.....	41
Quadro 4 - Análise e atribuições das notas conforme critérios estabelecidos .	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo do <i>Payback</i> descontado do orçamento para as empresas ..	43
Tabela 2 - Resultados do VPL total em 10 anos da empresa A.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Art.	Artigo
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio Brito
CDD GD	Custo de Disponibilidade Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Agência Internacional de Energia
IRENA	Agência Internacional para as Energias Renováveis
Km	Quilômetro
Km ²	Quilômetro quadrado
kWh	Quilowatts-hora
M	Metro
M ²	Metro quadrado
MW	Megawatt
PRODIST	Procedimento de distribuição
REN	Resolução Normativa
TIR	Taxa Interna de Retorno
TW	Terawatt TWh Terawatt hora
VPL	Valor Presente Líquido
Wh/m ²	Watt por hora por metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral.....	15
2.2	Objetivo Específicos	15
3	JUSTIFICATIVA.....	16
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
4.1	Energia Fotovoltaica	17
4.2	Incidência Solar no Brasil.....	18
4.3	Tipos de Células Fotovoltaicas	20
4.3.1	Película Fina.....	22
4.3.2	Células Bifaciais	22
4.3.3	Células de Terceira Geração.....	23
4.3.4	Diversidade com Diferentes Eficiências	23
4.4	Tipos de Sistemas Fotovoltaico	24
4.4.1	Sistemas Fotovoltaicos Autônomos ou Isolados (OFF-GRID).....	24
4.4.2	Sistemas ligados à rede (ON-GRID)	25
4.4.3	Sistemas Fotovoltaicos Híbridos	26
4.5	Geração Distribuída	27
4.6	Redução dos custos com energia elétrica e relação com sustentabilidade	31
5	ANALISE FINANCEIRA.....	33
5.1	Tarifas.....	33
5.2	Análise de Viabilidade Econômica do Projeto	33
5.2.2	Taxa interna de Retorno (TIR)	34
5.2.3	Retorno Sobre Investimento (ROI).....	34
5.2.4	<i>Payback</i>	35
6	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	35
6.1	Material.....	35
6.2	Métodos.....	36
6.3	Análise das propostas	40
7	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O debate sobre a sustentabilidade ambiental tem se intensificado, com foco na exploração de recursos naturais e sua preservação para as futuras gerações. A matriz energética global, que ainda depende amplamente de fontes não renováveis como os derivados de petróleo e carvão, tem gerado grandes impactos ambientais. Esse cenário é refletido também no Brasil, onde o consumo de energia tem aumentado, especialmente nas áreas urbanas. Embora o país possua uma matriz diversificada, com a geração hidrelétrica sendo predominante, as hidrelétricas ainda causam consideráveis impactos ambientais e sociais devido ao alagamento de grandes áreas. Além disso, a localização das centrais geradoras de energia nem sempre coincide com os maiores polos consumidores, gerando custos elevados com transmissão e perdas no sistema elétrico. Para mitigar esses impactos, busca-se cada vez mais alternativas de fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica, que apresenta vantagens significativas em termos de sustentabilidade, ao ser uma fonte limpa e de baixo impacto ambiental (Rüther, Salamoni, et al., 2008a).

A crescente demanda por energia, aliada aos custos elevados e à crescente preocupação com as emissões de carbono, tem impulsionado o aumento da adoção de sistemas de geração fotovoltaica, especialmente em países com grande incidência solar, como o Brasil. O potencial solar brasileiro, devido à sua localização geográfica e alta radiação solar, torna a energia fotovoltaica uma alternativa altamente viável e sustentável. A instalação de sistemas fotovoltaicos tem se mostrado vantajosa não apenas do ponto de vista ambiental, mas também econômico, especialmente com o uso de modelos de incentivos governamentais como leis e decretos e a crescente competitividade do setor. O uso da energia solar, ao ser gerada localmente e de forma distribuída, reduz os custos de transmissão e distribuição, além de aproveitar áreas já construídas, como os telhados das edificações residenciais e comerciais (IEA, 2021a).

O avanço da tecnologia fotovoltaica permite que a energia seja gerada durante o dia, período em que a demanda também tende a ser maior, especialmente em áreas urbanas com grande atividade comercial e de serviços. Em locais onde há uma concentração significativa de edificações, os sistemas fotovoltaicos podem fornecer parte da energia necessária para o consumo local, reduzindo a pressão sobre a rede elétrica convencional e contribuindo para uma gestão mais eficiente da energia. Esse modelo, conhecido como geração distribuída, tem ganhado força como uma solução

tanto para consumidores residenciais quanto para grandes empreendimentos comerciais, pois além de reduzir custos, também contribui para a sustentabilidade ambiental, diminuindo as emissões de gases de efeito estufa (RIBEIRO, 2019)

A combinação da energia solar fotovoltaica com a rede elétrica convencional permite um sistema híbrido, onde a energia gerada durante o dia é injetada na rede e utilizada à noite, sem a necessidade de sistemas de armazenamento como baterias, o que aumenta a eficiência do processo. Esse modelo também é atraente financeiramente, uma vez que o excedente de energia gerado pode ser remunerado a uma tarifa diferenciada, o que torna o investimento mais acessível e reduz o tempo de retorno do capital investido (BRASIL, 2022b). Com o apoio de políticas públicas e o crescente interesse dos consumidores, a tendência é que o mercado fotovoltaico se expanda cada vez mais, oferecendo uma solução eficaz para os desafios energéticos contemporâneos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Propor um sistema fotovoltaico de geração de energia compartilhada para um empreendimento comercial em Franca, São Paulo.

2.2 Objetivo Específicos

- Estruturar três propostas de orçamentos que atendam a demanda do Empreendimento Comercial;
- Verificar a viabilidade técnica e econômica de instalação do sistema fotovoltaico para o local proposto;
- Verificar o quantitativo de CO² que o estabelecimento compensará se utilizar o sistema fotovoltaico;

3 JUSTIFICATIVA

No cenário atual da matriz energética mundial, verifica-se uma predominância significativa de fontes não renováveis, como o carvão mineral, que contribuem de forma substancial para a geração global de energia elétrica. Dados recentes indicam que a geração global de eletricidade atingiu aproximadamente 29.300 TWh em 2022, sendo que fontes renováveis, como solar e eólica, forneceram cerca de 30% da eletricidade mundial em 2023, com crescimento recorde nesse setor (IEA, 2021b). Este cenário reflete a busca crescente por alternativas mais sustentáveis e menos impactantes ao meio ambiente.

No Brasil, o aumento no consumo de energia elétrica em 2021, como reflexo da recuperação econômica pós-pandemia, evidencia a relevância crítica da energia elétrica para o desenvolvimento econômico do país (CCEE, 2022). No entanto, a crise hídrica enfrentada atualmente destaca a fragilidade da dependência excessiva de hidrelétricas, o que resultou na implementação de medidas como a criação de novas bandeiras tarifárias para mitigar os impactos da escassez de chuvas (VILELA, 2021).

Diante desse cenário desafiador, a energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma solução viável e sustentável. Além de utilizar um recurso renovável e não emitir gases poluentes prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, a tecnologia dos painéis solares tem registrado uma redução significativa de custos (ABSOLAR, 2023). No Brasil, a Resolução Normativa nº 687/2015 ampliou as oportunidades para o mercado de energia fotovoltaica, permitindo, por exemplo, a geração distribuída em condomínios residenciais (SANTANA, 2019).

Assim, propõe-se a implementação de um sistema fotovoltaico de geração de energia compartilhada em um empreendimento comercial e um salão de eventos, com o objetivo de reduzir a dependência de fontes tradicionais de energia elétrica, além de promover a sustentabilidade ambiental e econômica. Essa proposta permitirá aos moradores compartilhar a energia gerada, distribuindo os benefícios econômicos de forma equitativa e incentivando práticas sustentáveis no âmbito comunitário.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico será abordado a revisão da literatura sobre o sistema fotovoltaico, geração de energia e redução dos custos com energia elétrica e relação com a sustentabilidade.

4.1 Energia Fotovoltaica

Dada a expansão da indústria e a crescente necessidade de energia, a energia solar tem se tornado essencial para o desenvolvimento sustentável. A principal fonte de energia da Terra, o Sol, oferece uma alternativa abundante e capaz de reduzir as emissões de poluição, tornando a energia solar uma das opções mais promissoras para a produção de eletricidade. A energia fotovoltaica é gerada pela conversão direta da luz solar em eletricidade, por meio do efeito fotovoltaico, que ocorre quando a radiação solar atinge células solares baseadas em semicondutores. Como ressaltam Coelho, Schmitz e Martins (2022), a tecnologia fotovoltaica tem evoluído consideravelmente, com avanços na compreensão do efeito fotovoltaico e na aplicação de conversores e sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

A importância da energia solar é ainda realçada pelo fato de ser necessária tanto para a produção de energia quanto para o equilíbrio ambiental devido ao seu envolvimento em processos físicos, químicos e biológicos fundamentais. Segundo Riedel-Lyngskær et al. (2022) os sistemas solares e a descrição de suas partes constituintes são muito influenciados pelas diversas formas de radiação solar, incluindo radiação direta, difusa e refletida (albedo). Para maximizar o desempenho dos sistemas solares, essas medidas são essenciais (MARQUES et al., 2020). Nos últimos anos, assistimos a avanços significativos na energia solar, principalmente como resultado da queda dos preços dos equipamentos e da crescente procura por energia sustentável. Uma das principais vantagens da energia fotovoltaica, segundo Boas (2017), é a ausência de emissões de poluentes e o baixo custo de manutenção do sistema.

Apesar de o Brasil possuir uma alta incidência solar e ser um dos países com maior potencial para geração de energia solar no mundo, apenas 5% de sua matriz energética é composta por parques solares, o que indica que a energia solar ainda representa uma fração pequena da rede elétrica do país. Contudo, espera-se um

crescimento significativo da energia solar nos próximos anos, com a expectativa de que as fontes renováveis, como a solar e a eólica, cresçam em 23% até 2030.

A energia fotovoltaica tem um grande potencial, especialmente pela sua capacidade de contribuir para a transição energética, sendo uma das formas mais promissoras de produção de eletricidade limpa. A tecnologia fotovoltaica é baseada na conversão direta da luz solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, um processo que ocorre quando a radiação solar atinge células solares compostas por materiais semicondutores.

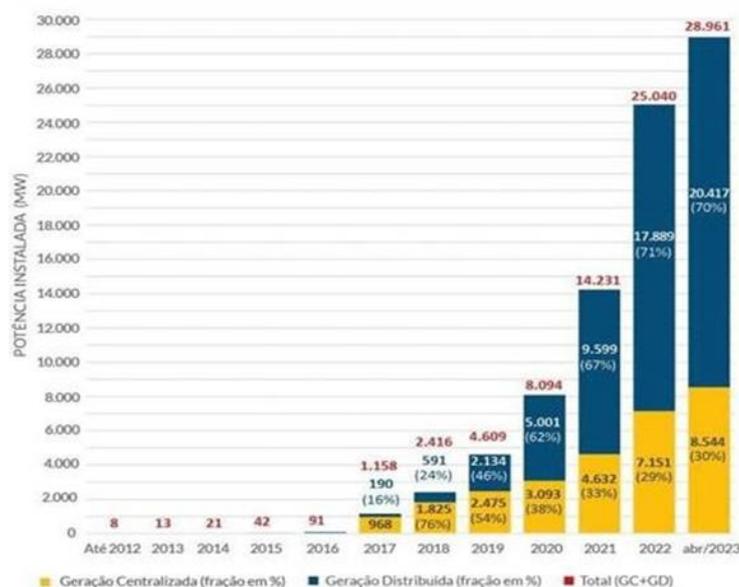
A energia solar é cada vez mais vista como essencial para o desenvolvimento sustentável, não só pelo seu impacto ambiental positivo, mas também pela sua versatilidade. Além disso, devido à durabilidade e resistência dos painéis solares, há um grande potencial para integrá-los à arquitetura, como em fachadas e telhados, tornando-os não apenas uma solução energética, mas também uma ferramenta para promover a sustentabilidade na construção civil.

4.2 Incidência Solar no Brasil

O Brasil tem enorme potencial para produzir energia com energia fotovoltaica, principalmente no Nordeste, onde a irradiação solar é maior. Há uma média elevada e pouca flutuação na quantidade de luz solar recebida nesta área ao longo do ano. Lima e Nunes (2022) afirmam que mesmo a região menos ensolarada do Brasil pode gerar mais energia do que a Alemanha, país que lidera o mundo no uso de energia solar.

O Brasil tem o maior potencial de consumo de energia solar, especialmente no Nordeste, e está em uma localização muito favorável em termos de disponibilidade de radiação solar. Devido aos significativos investimentos realizados nesta indústria, as instalações de energia solar têm crescido em todo o país nos últimos anos. Esta mudança foi exacerbada pelo aumento das tarifas de eletricidade, que é parcialmente resultado de uma contínua escassez de água que afeta a produção hidroelétrica.

O consumo de energia solar no Brasil aumentou significativamente, como pode ser visto na Figura 1, com a capacidade instalada crescendo a partir de 2017 e continuando a se expandir de forma consistente.

Figura 1 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

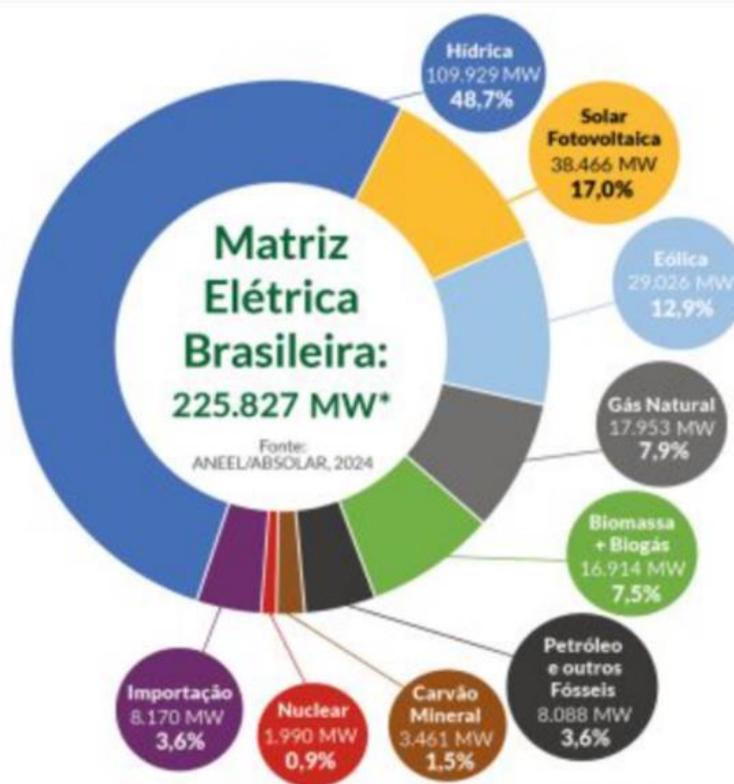
Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2023)

A participação da energia solar na matriz elétrica brasileira teve um salto significativo, passando de 11,6% para 17% em apenas um ano, conforme dados da ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). Entre fevereiro de 2023 e o início de 2024, aproximadamente 14 GW de potência foram instalados no país, totalizando cerca de 39 GW de capacidade operacional para a fonte solar.

Esse crescimento expressivo consolidou a energia solar na segunda posição entre as fontes com maior participação na matriz elétrica, superando as usinas eólicas, que detêm 12,9%. No momento, a energia solar é ultrapassada apenas pelas hidrelétricas, responsáveis por quase metade da potência total instalada (48,7%) no Brasil.

Entretanto, é importante destacar que as usinas hidrelétricas estão perdendo participação na matriz elétrica, à medida que as fontes renováveis, como a solar e a eólica, ganham mais espaço. Em fevereiro de 2021, por exemplo, a participação das hidrelétricas era de 60%, enquanto a solar representava apenas 1,7% e a eólica 9,8%.

Figura 2 - Matriz Energética Brasileira



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2023)

4.3 Tipos de Células Fotovoltaicas

A fabricação de células fotovoltaicas envolve o uso de silício em várias formas, como monocristalino, policristalino e amorfo, cada uma com características específicas que influenciam a eficiência e o custo da tecnologia. O silício cristalino, utilizado nas formas monocristalina e policristalina, é amplamente empregado devido à sua alta eficiência na conversão de energia solar em eletricidade. Já as células de silício amorfo, que formam a tecnologia de filme fino, oferecem vantagens de custo e flexibilidade, embora sua eficiência seja inferior.

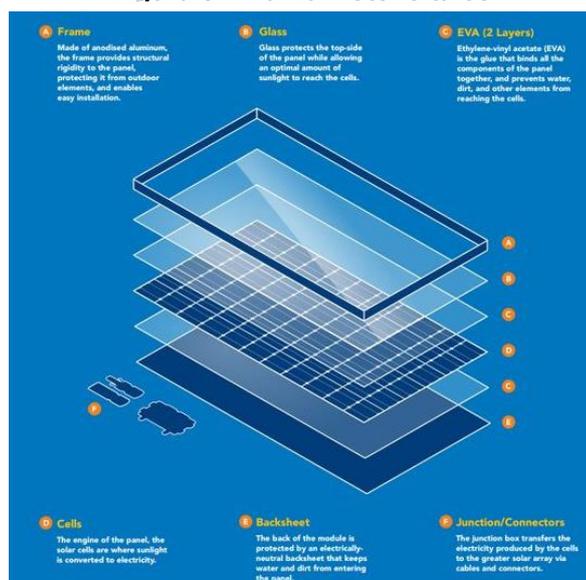
De acordo com Oliveira (2024), as inovações tecnológicas em células fotovoltaicas têm levado à melhoria da eficiência e à redução de custos, tornando a energia solar uma alternativa cada vez mais viável. Além disso, os desafios e oportunidades que surgem com a adoção crescente dessa tecnologia, especialmente em contextos como a transição energética e a necessidade de políticas públicas eficazes.

Como o silício é facilmente acessível, não é tóxico e é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, ele apresenta diversas vantagens sobre outros semicondutores. Além disso, comparado a outros materiais, o processo de produção de células à base de silício é bastante fácil e acessível.

Solar (2016) afirma que o quartzo é a fonte de silício utilizado na fabricação de células solares. O Brasil possui os depósitos de quartzo da mais alta qualidade do mundo e é um dos maiores produtores de silício do mundo. O Brasil, porém, não realiza localmente os procedimentos de purificação e fabricação de células de silício, apesar de possuir esses recursos.

Os módulos de silício cristalino são constituídos por células fotovoltaicas individuais ligadas em um conjunto encapsulado entre um material transparente a frente, normalmente vidro, e um material de suporte, geralmente de plástico ou vidro (IEA-a, 2015).

Figura 3 - Painel Fotovoltaico



Fonte: Greener ideal, 2024

A tecnologia fotovoltaica mais avançada é o silício cristalino (Milange, 2022). Atualmente, o silício cristalino (c-Si) domina a produção comercial, representando cerca de 93% da produção solar mundial em 2015 (Lazzarin, 2023). Essa tecnologia se divide principalmente em dois tipos: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si) (Zanesco et al., 2018).

O silício policristalino, base do projeto proposto, é objeto deste estudo. Em 2015, quase 69% das células solares produzidas globalmente eram de p-Si, com

células comerciais atingindo uma eficiência média de 19,2% e as de melhor desempenho em laboratório chegando a 21,3% (Lazzarin, 2023; Milange, 2022).

Embora o mesmo material seja usado na fabricação tanto do m-Si quanto do p-Si, o processo de solidificação no p-Si forma um bloco composto por diversos cristais minúsculos, e não um único cristal (Zanesco et al., 2018). Esse fato, ao demandar o corte desses blocos para a produção das células, gera interfaces entre os cristais que reduzem marginalmente a eficiência, mesmo mantendo um consumo de material semelhante ao do m-Si.

Apesar dessa pequena desvantagem, o p-Si possui importantes vantagens. Sua fabricação é mais simples e econômica, exigindo menos energia no processo (Lazzarin, 2023; Milange, 2022), o que o torna uma escolha atrativa para aplicações fotovoltaicas de grande escala (Zanesco et al., 2018).

4.3.1 Película Fina

As células de película fina são produzidas por deposição de materiais fotovoltaicos em camadas muito finas, utilizando, por exemplo, silício amorfo, telureto de cádmio (CdTe) ou cobre-índio-gálio-seleneto (CIGS) (Lazzarin, 2023). Devido à sua leveza e flexibilidade, esses dispositivos são ideais para áreas com espaço limitado ou superfícies irregulares (Milange, 2022). Embora o custo de fabricação seja reduzido, a eficiência dessas células geralmente varia entre 10% e 15% (Zhao et al., 2023). Estratégias como o uso de substratos de alta reflexão ou sistemas bifaciais podem contribuir para o aumento dessa eficiência (Lazzarin, 2023).

4.3.2 Células Bifaciais

As células solares bifaciais representam uma evolução tecnológica, pois captam luz solar tanto na face frontal quanto na traseira (Choi et al., 2024). Essa característica permite aumentar a energia gerada, especialmente em ambientes com alta refletância, como telhados ou solos claros (Milange, 2022). Estudos apontam que a eficiência dessas células pode melhorar em até 30%, o que as torna bastante promissoras para grandes instalações, como fazendas solares (Choi et al., 2024).

4.3.3 Células de Terceira Geração

As células de terceira geração são uma área de inovação no campo das células solares, com tecnologias avançadas que visam melhorar a eficiência de conversão e reduzir os custos. Entre essas tecnologias estão as células de perovskita, células sensíveis a corante (DSSC), e células de junção múltipla.

As células de terceira geração têm como objetivo combinar maior eficiência com redução de custos (Pereira et al., 2024). Dentro desse grupo, destacam-se as células de perovskita e as células sensíveis a corante (DSSC). As células de perovskita, por exemplo, já alcançaram eficiências superiores a 25% em alguns estudos laboratoriais, demonstrando potencial para reduzir os custos de produção (Pereira et al., 2024; Lazzarin, 2023). Contudo, desafios relacionados à durabilidade e ao uso de materiais como o chumbo ainda precisam ser superados (Milange, 2022). Em contrapartida, as DSSC, embora apresentem eficiências menores que as células de perovskita ou as monocristalinas, oferecem flexibilidade e bom desempenho em condições de baixa luminosidade, sendo uma alternativa interessante para dispositivos portáteis e aplicações urbanas de baixo custo (Grätzel, 2024).

As células de junção múltipla combinam diferentes materiais fotovoltaicos para captar uma gama mais ampla de espectros de luz, aumentando a eficiência. Essas células têm o potencial de superar os 30% de eficiência, mas os custos de produção ainda são um fator limitante. A pesquisa de Yoon et al. (2021) discutiu as células de junção múltipla com materiais como o arseneto de gálio (GaAs), que são usados para maximizar a absorção da luz solar e melhorar a eficiência, destacando o potencial dessas células para aplicações em sistemas de concentração solar.

4.3.4 Diversidade com Diferentes Eficiências

A variedade de tecnologias fotovoltaicas resulta em diferentes níveis de eficiência, refletindo o equilíbrio entre custo, desempenho e viabilidade técnica (Zanescio et al., 2018). Enquanto as células monocristalinas continuam a ser as mais eficientes, tecnologias emergentes como as bifaciais, de perovskita e de terceira

geração têm o potencial de superar os métodos tradicionais (Lazzarin, 2023; Pereira et al., 2024)

A escolha da tecnologia mais adequada depende de fatores como o tipo de aplicação (residencial, comercial ou de grande escala), os custos de instalação e as condições ambientais locais (Milange, 2022). Em locais com alta refletância, as células bifaciais demonstram vantagens significativas, enquanto as de perovskita podem se tornar mais competitivas conforme seus desafios de durabilidade forem resolvidos (Zanescio et al., 2018).

As tecnologias fotovoltaicas evoluem rapidamente, com avanços constantes em materiais e métodos de fabricação que tornam as células solares cada vez mais eficientes e acessíveis (Milange, 2022). A escolha da tecnologia ideal envolve o equilíbrio entre custo, eficiência e as condições específicas de instalação, sendo que inovações como as células de perovskita e as bifaciais têm o potencial de transformar o mercado de energia solar nas próximas décadas (Lazzarin, 2023; Pereira et al., 2024).

4.4 Tipos de Sistemas Fotovoltaico

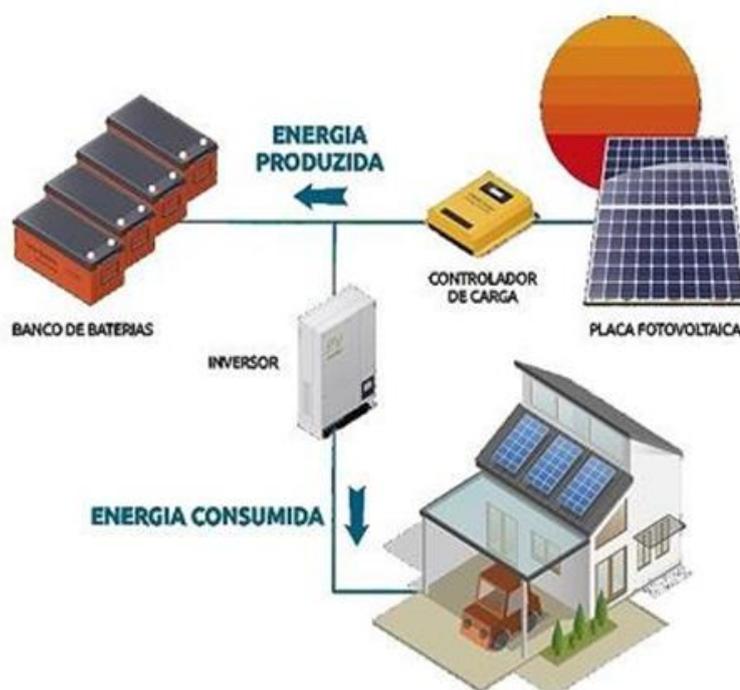
Philippi Jr. (2016) afirmam que como cada local possui diferentes variáveis ambientais, os sistemas solares precisam ser customizados para cada local. O tipo de sistema necessário e as suas capacidades de desempenho são determinados por estas características específicas, sublinhando a necessidade de modificar a tecnologia solar para satisfazer as diversas exigências de várias áreas geográficas.

4.4.1 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos ou Isolados (OFF-GRID)

Os sistemas fora da rede são perfeitos para locais remotos ou subdesenvolvidos sem acesso à distribuição de energia, uma vez que funcionam independentemente da rede elétrica convencional conforme ilustrado na Figura 3. Principalmente em locais isolados, esses sistemas podem diminuir o ruído e a poluição, tornando-os uma opção mais ecologicamente correta do que os geradores a diesel (Lima Junior, 2019).

Existem duas categorias principais de sistemas fora da rede: aqueles que possuem armazenamento de energia e aqueles que não possuem. Embora necessitem de muito armazenamento em bateria, o que pode elevar os custos de instalação e manutenção, os sistemas de armazenamento são frequentemente utilizados para sinalização rodoviária, iluminação pública e carregamento de carros elétricos. Por outro lado, como os sistemas sem armazenamento não necessitam de componentes de armazenamento de energia, são mais econômicos e são frequentemente utilizados para bombeamento de água.

Figura 4 - Sistema fotovoltaico autônomo



Fonte: BMC ENERGIA (2021)

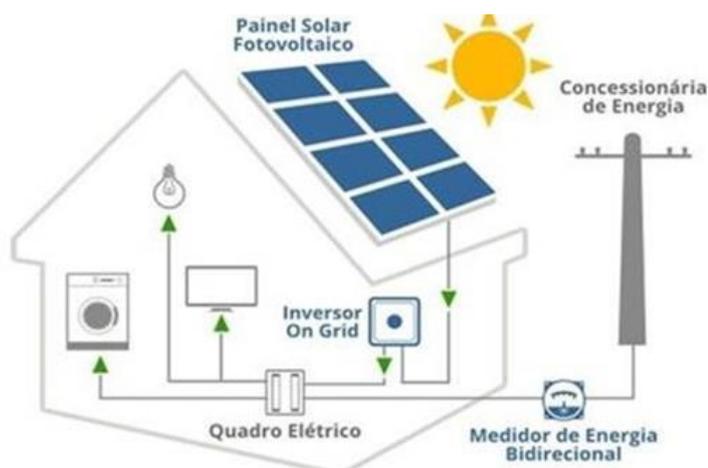
4.4.2 Sistemas ligados à rede (ON-GRID)

Os sistemas solares na rede, ao contrário dos sistemas fora da rede, estão diretamente ligados à rede elétrica conforme ilustrado na Figura 4, resultando num tipo de cogeração de energia com o fornecedor de serviços públicos. Painéis solares, peças de montagem, inversor, medidor bidirecional, fusíveis, disjuntores e dispositivos de segurança contra sobretensão e aterramento compõem uma instalação solar na rede (Solar, 2022).

O inversor, que atua como condutor entre a rede e os painéis solares, controla o processo de conversão. De acordo com esta estratégia, a energia é produzida no local de consumo e a rede satisfaz a procura quando os painéis solares não conseguem gerar eletricidade suficiente. Como observa o autor, por outro lado, se for produzida mais energia do que utilizada, o excesso é colocado de volta no sistema.

Como toda a energia gerada é utilizada pela família ou enviada para a rede elétrica, os sistemas on-grid não necessitam de baterias (Solar Brasil, 2019). O sistema retira energia da rede quando a geração é insuficiente e envia o excesso de energia para a rede quando a geração ultrapassa o uso. Acompanha a Norma ANEEL 482/2012 o sistema de compensação de energia, que transforma a energia desperdiçada em créditos que poderão ser aproveitados quando o sistema não estiver produzindo energia suficiente e a energia for retirada da rede.

Figura 5 - Sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição



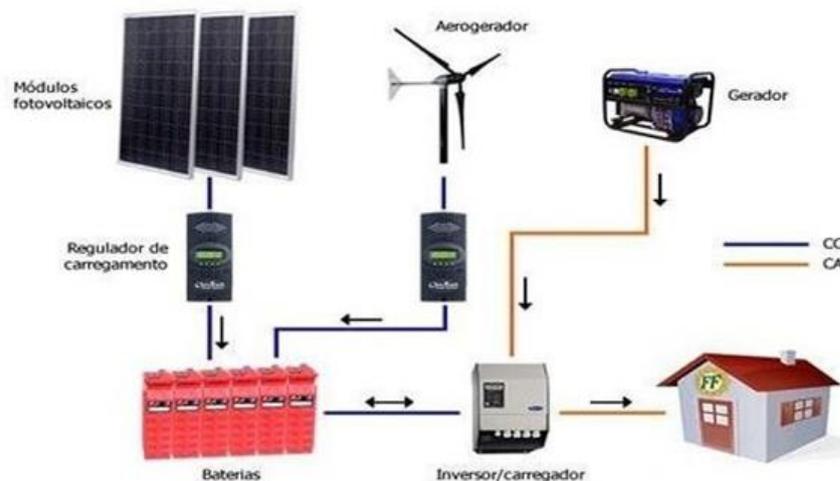
Fonte: ASG (2019)

4.4.3 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos

Para aumentar a eficiência geral e a confiabilidade do sistema, um sistema de energia híbrido integra muitas fontes de energia, como solar e eólica ou solar e diesel. O desempenho consistente é garantido pela integração de muitas fontes de energia, especialmente em situações onde uma fonte pode ser menos acessível, como em dias nublados ou durante períodos de vento fraco.

Um sistema híbrido solar-vento-diesel melhora a estabilidade e a eficiência energética, conforme mostrado na Figura 6 (FF solar, 2025). Combinar a tecnologia solar com fontes de energia alternativas é a ideia fundamental por trás dos sistemas híbridos. Ao combinar a energia solar e eólica, este método garante um fornecimento constante de eletricidade.

Figura 6 - Sistema híbrido solar-eólico-diesel



Fonte: FF SOLAR (2025)

O armazenamento da bateria funciona como reserva em momentos em que não há vento nem sol, inclusive à noite ou em dias nublados (Garcia, 2018). Estas tecnologias são frequentemente incorporadas em sistemas movidos a diesel já existentes.

Os sistemas híbridos, por outro lado, são mais complexos e exigem sistemas de controle avançados para maximizar a utilização de todas as fontes de energia, garantindo ao utilizador final o mais alto nível de eficiência e fiabilidade.

4.5 Geração Distribuída

Com as suas soluções localizadas para problemas como perdas de transmissão e efeitos ambientais, a geração distribuída de energia (GD) está revolucionando a indústria energética mundial. Os sistemas de energia distribuída representam agora 40% do mercado mundial, mas os sistemas centralizados ainda detêm cerca de 60% do mercado. Esta mudança demonstra a crescente popularidade de soluções descentralizadas que melhor se adaptam às necessidades energéticas locais e aos objetivos ambientais.

A adoção da GD tem sido essencial para a diversificação da matriz energética brasileira. Uma virada importante foi a adoção da Resolução Normativa 482/2012, que estabeleceu diretrizes para minigeração e microgeração por meio de sistema de distribuição. Ao contribuir com o excesso de energia para a rede, os usuários podem utilizar essa legislação para equilibrar seu uso de energia e receber créditos para uso futuro (ANEEL, 2021).

Estas tecnologias diminuem a procura da rede, reduzem as perdas de transmissão e distribuição e adiam dispendiosas atualizações de infraestruturas. Essas vantagens são especialmente pertinentes no Brasil, onde há chances especiais de otimização energética devido à vasta geografia e aos recursos variados do país (ANEEL, 2021).

Modelos de Compensação: a compensação de energia é feita através do sistema de net metering, no qual os consumidores que geram sua própria energia podem consumir o que produzem e, caso haja excedente, injetar na rede elétrica, recebendo créditos que podem ser usados para abater a conta de energia. A ANEEL tem revisado esses processos para tornar mais eficiente a transição entre as tarifas de consumo e o impacto da geração distribuída no sistema como um todo.

Taxas e Tarifa de Geração Distribuída: Em 2024, a ANEEL implementou mudanças nas tarifas para os novos consumidores, com o objetivo de criar um modelo mais equilibrado. A ideia é que consumidores que se beneficiam mais diretamente da compensação de energia com sistemas fotovoltaicos contribuam para os custos de manutenção e operação das redes de distribuição, o que anteriormente era subsidiado por consumidores que não utilizam sistemas de geração distribuída.

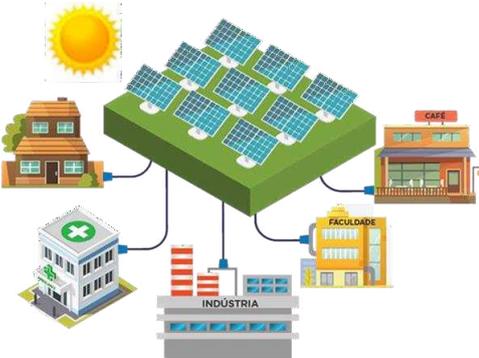
Projeções para 2024 e Além: O Brasil continua com um dos maiores crescimentos de geração distribuída no mundo, e espera-se que o setor continue a se expandir, principalmente devido à queda nos custos dos sistemas fotovoltaicos e ao crescente interesse por alternativas sustentáveis de geração de energia. Projeções indicam que o país poderá atingir 20 GW de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica até o final de 2024.

A Lei 14.300/2022 e outros desenvolvimentos legislativos recentes aumentaram a atratividade da GD no Brasil. Além de introduzir novas modalidades como o auto-consumo remoto, esta lei aumentou a duração dos créditos de energia de 36 para 60 meses. Desde que ambos os imóveis estejam localizados na mesma área de concessão da concessionária, esse modelo permite que os usuários utilizem

o excesso de energia produzida em um local para equilibrar o consumo em outro (NETTO; URBANOTZ JUNIOR, 2022).

De acordo com a lei tem-se as seguintes definições exemplificada pela Figura 7:

Figura 7 - Descrições de modalidades de geração de energia

Descrição	Exemplo	Referências
<p>Geração junto à carga:</p> <p>Modalidade em que unidades consumidoras pertencentes a uma mesma pessoa jurídica ou física, com microgeração ou minigeração distribuída, são atendidas por uma única distribuidora.</p>		<p>Fonte: Brasil (2022)</p> <p>Fonte: Picos, (2020)</p>
<p>O autoconsumo remoto:</p> <p>Modalidade na qual uma pessoa ou empresa possui várias unidades consumidoras de energia elétrica que são atendidas pela mesma distribuidora.</p>		<p>Fonte: Brasil (2022)</p> <p>Fonte: Ayres (2023)</p>
<p>Geração Compartilhada:</p> <p>Modalidade onde vários consumidores reunidos em cooperativa ou consórcio para utilizar os créditos de energia gerados pela usina</p>		<p>Fonte: Brasil (2022)</p> <p>Fonte: Lqi (2023)</p>

<p>Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras – EMUC</p> <p>É um sistema que permite que condomínios horizontais e verticais, sendo eles residenciais e/ou comerciais instalem um sistema de micro ou minigeração distribuída de energia e compartilhem a energia gerada pelo sistema entre as unidades consumidoras.</p>		<p>Fonte: Brasil (2022)</p> <p>Fonte: Farol (2021)</p>
---	--	--

Fonte: Peres (2023, p. 28)

Além disso, ao alocar créditos aos participantes de acordo com percentuais pré-determinados, a geração compartilhada permite que grupos de consumidores lucrem de forma colaborativa com um único sistema de GD.

Globalmente, o crescimento da GD também é evidente. Estratégias semelhantes foram utilizadas por países como os EUA, o México e a Jordânia, que utilizam projetos massivos de energias renováveis para estimular a modernização das infraestruturas e a inovação energética (IEA, 2019) Atualizações de regulamentações que simplificam procedimentos burocráticos e incentivam investimentos em tecnologia solar estão interligadas a essa tendência para o Brasil. Por exemplo, ao estabelecer novos empregos na indústria de energia solar, a REN 687/2015 promoveu o desenvolvimento da força de trabalho e encurtou os tempos de conexão para instalações de pequena escala (SANTANA, 2019).

Até o ano de 2024, a GD no Brasil, especialmente através de energia solar fotovoltaica, tem mostrado um crescimento robusto. Aqui estão alguns pontos principais sobre a situação atual, com base nas normas regulatórias da ANEEL e nas tendências do setor:

1. Crescimento da Geração Solar: A geração distribuída de energia solar fotovoltaica é a principal fonte nesse setor no Brasil. Até 2023, o Brasil ultrapassou a marca de 18 GW de capacidade instalada de geração solar, com

uma parte significativa (aproximadamente 99%) sendo de sistemas fotovoltaicos instalados.

4.6 Redução dos custos com energia elétrica e relação com sustentabilidade

A nível mundial, os sistemas energéticos estão a mudar devido a uma série de variáveis, incluindo a expansão de fontes de energia renováveis baratas, avanços na digitalização, a utilização crescente de recursos energéticos distribuídos e numerosos potenciais de eletrificação.

Prevê-se que a capacidade de energia renovável aumente mais de 8% em 2022 em relação a 2021, com a energia solar fotovoltaica contribuindo com mais de 60% deste crescimento, de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2022). Os projetos de grande escala, que representam cerca de dois terços da nova capacidade instalada, são os principais responsáveis por este aumento.

No entanto, a indústria solar fotovoltaica tem sido prejudicada pelos preços crescentes do frete e dos insumos industriais desde o início de 2021. A produção e o transporte de módulos, que dependem significativamente de insumos como aço, alumínio e polisilício, uma forma refinada de silício, são as principais despesas associadas à energia solar fotovoltaica (CASARIN, 2021). Mesmo com estes aumentos de preços, a produção de energia solar e eólica ainda custa menos do que as alternativas aos combustíveis fósseis, especialmente considerando o quão caros são o carvão e o gás natural neste momento.

As novas fontes de energia renováveis já superam as instalações alimentadas a carvão em termos de eficiência de custos operacionais, de acordo com a IRENA (2020), o que torna a energia baseada no carvão menos competitiva e mais prejudicial do ponto de vista ecológico devido às emissões de CO₂.

Para atingir emissões líquidas zero, que é o equilíbrio entre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) emitidas na atmosfera e as que dela são removidas, a energia renovável é essencial (IEA, 2021b). Mas alcançar este objetivo exige muito mais do que apenas trocar tecnologias nocivas por outras mais ecológicas. Segundo Atwoli *et al.* (2021), a cooperação internacional é necessária para garantir que a implementação de tecnologia sustentável não resulte em deterioração ambiental adicional ou exploração humana.

Com um número recorde de parques fotovoltaicos previstos para serem instalados até 2026, o Brasil é considerado uma das áreas mais promissoras para a energia solar. A expectativa é que o Brasil ajude a atingir a marca histórica de 1 TW de capacidade instalada, juntamente com outros países (NOGUEIRA, 2022).

No entanto, o elevado custo inicial de aquisição de sistemas solares continua a ser um grande impedimento, especialmente para pequenas empresas e clientes domésticos (NASCIMENTO, 2017).

O Brasil possui uma série de incentivos para micro e minigeração de energia para resolver essas questões. Estes consistem em incentivos fiscais estaduais, o Fundo Climático, o Plano Energético Inova, possibilidades de financiamento e muito mais (CRUZ, 2015). O governo federal estimulou ainda mais a indústria de geração de energia em 2023, após um ano recorde, ao conceder incentivos fiscais para painéis solares e semicondutores.

Segundo a Agência Brasil (2023), a legislação, publicada no Diário Oficial da União, deverá impulsionar ainda mais o crescimento da Indústria, ao mesmo tempo que renuncia a cerca de R\$ 600 milhões em receitas tributárias. É bem reconhecido que a energia solar é uma fonte de energia limpa, silenciosa e sustentável, sem nenhum efeito sobre o meio ambiente.

Com uma vida útil média em torno de 25 anos, o retorno do investimento geralmente ocorre em sete anos, embora o custo de instalação seja significativo. Esses sistemas têm potencial para economizar custos de energia em até 95% quando construídos adequadamente (GREEN, 2022).

Os futuros desenvolvimentos tecnológicos deverão também tornar os sistemas solares ainda mais acessíveis, o que reduzirá os custos de manutenção e aumentará o valor das casas pertencentes a indivíduos que utilizam esta opção.

Todos esses critérios mencionados, são utilizados frequentemente em ferramentas de gestão da qualidade, planejamento de projetos, metas pessoais, garantindo que elas sejam claras e alcançáveis e bem gerenciadas. A aplicação desses critérios contribui para que não seja difícil de medir ou tenha metas vagas, ajudando para a maior probabilidade de sucesso na conclusão do projeto.

5 ANÁLISE FINANCEIRA

5.1 Tarifas

Conforme informa a CEMIRIM (2018), os grupos tarifários são classificados em Grupo A (fornecimento de energia em tensão igual ou superior a 2,3 kV) e Grupo B (fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV ou atendidas em tensão superior a 2,3 kV, mas faturadas nesse grupo). Para as unidades do Grupo A, consideram-se dois valores de consumo distintos (Ponta e Fora de Ponta), o que implica que o dimensionamento do sistema gerador deve levar essa diferença em conta. Já para as unidades do Grupo B, considera-se o consumo total.

As tarifas de energia elétrica são compostas por duas partes principais: a Tarifa de Energia (TE), que incide sobre o consumo, e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), relacionada à utilização da rede distribuidora (ANEEL, 2010). A TUSD inclui custos com perdas técnicas, encargos regulatórios e uso da infraestrutura de distribuição (ANEEL, 2024).

Em relação aos aspectos fiscais, a Resolução Normativa ANEEL nº 1.059, de fevereiro de 2023, revisou o sistema de compensação de energia elétrica para microgeração e minigeração distribuída. A norma incluiu a isenção de ICMS para operações com energia solar fotovoltaica de até 5 MW, conforme regulamentado por decretos estaduais, como o Decreto nº 67.521/2023, no estado de São Paulo. (ANEEL, 2023; SÃO PAULO, 2023).

5.2 Análise de Viabilidade Econômica do Projeto

De acordo com RASOTO et. al. (2012), o valor presente líquido (VPL) é uma ferramenta essencial para a análise e avaliação de projetos financeiros. Essa metodologia permite que investidores comparem os fluxos de caixa descontados ao presente, determinando a viabilidade econômica com base na diferença entre entradas e saídas de caixa, descontadas por uma taxa de atratividade previamente definida.

O VPL é amplamente utilizado em decisões de investimento, pois possibilita a comparação de alternativas, considerando os custos e benefícios ao longo do tempo,

e ajuda a determinar se um projeto adiciona valor à organização ao comparar os ganhos esperados com o custo do capital.

Matematicamente, o VPL conforme Equação 1:

$$VPL = \sum \left(\frac{\text{fluxodecaixaemcadaperiodo}}{(1 + \text{taxadedesconto})^n} \right) - \text{Investimento inicial} \quad (1)$$

Onde n representa o período do fluxo de caixa, e a Taxa de Desconto reflete a rentabilidade mínima exigida para o projeto RASOTO *et. al.* (2012).

5.2.2 Taxa interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um indicador financeiro que reduz o valor presente líquido (VPL) de um fluxo de caixa a zero. Ela deve ser considerada como um parâmetro de risco durante a tomada de decisões.

À medida que o projeto se aproxima da TIR, aumenta a probabilidade de o valor do projeto ser inferior ao retorno mínimo exigido, refletido pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Para garantir que um determinado projeto gere um retorno superior ao de um simples investimento à taxa mínima atrativa, a TIR realiza um ajuste da TMA, RASOTO *et. al.* (2012),

O primeiro passo para encontrar a TIR é igualar o VPL a zero, utilizando conforme Equação 2:

$$VPL = \sum \left(\frac{\text{flucodeCaixaemcadaperiodo}}{(1 + TIR)^n} \right) - \text{Investimento inicial} = 0 \quad (2)$$

5.2.3 Retorno Sobre Investimento (ROI)

Segundo HOJI (2017), uma métrica usada para avaliar o sucesso financeiro de um investidor é conhecida como Retorno sobre o Investimento (ROI). O ROI é calculado subtraindo o lucro do investimento e dividindo o resultado pelo investimento. O cálculo do ROI é representado matematicamente conforme Equação 3:

$$ROI = \left(\frac{\text{Lucro} - \text{Investimento}}{\text{Investimento}} \right) (3)$$

5.2.4 Payback

O *payback* é um método para calcular o tempo necessário para recuperar um investimento inicial. Ele pode ser total ou descontado. O *payback* total considera apenas o tempo até que os fluxos de caixa acumulados igualem o investimento inicial. Já o *payback* descontado ajusta esses fluxos ao valor do dinheiro no tempo, aplicando uma taxa de desconto.

A principal diferença entre eles é que o *payback* descontado considera a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo, tornando a análise mais precisa ao incluir fatores como inflação e variação do valor do dinheiro (GITMAN, 2020). Seu cálculo pode ser expresso matematicamente conforme a equação 4 (Ross *et al.*, 2019).

$$VP = \frac{\text{Fluxo de Caixa no período (ano)}}{(1 + i)^n} (4)$$

6 RESULTADO E DISCUSSÃO

6.1 Material

O município de Franca, localizado no nordeste do estado de São Paulo, é reconhecido como um importante centro econômico, destacando-se especialmente pela indústria calçadista. Segundo dados do IBGE, a população estimada da cidade em 2024 é de 364.331 habitantes, distribuída em uma área territorial de 605,679 km². A cidade está situada a uma altitude média de 1.040 metros, sendo uma das mais elevadas do estado, e localiza-se a aproximadamente 400 km da capital, São Paulo.

Além de sua relevância econômica, Franca também se destaca por sua infraestrutura urbana e pela influência regional, consolidando-se como um polo de serviços e inovação. Com uma história marcada pelo crescimento industrial e social, a cidade continua a desempenhar um papel significativo no desenvolvimento do interior paulista.

Figura 8 - Município de Franca - SP

Fonte: Adaptado de Cocapec (2008).

O estudo foi realizado no município citado acima, em dois locais, Salão de Eventos e no Empreendimento Comercial.

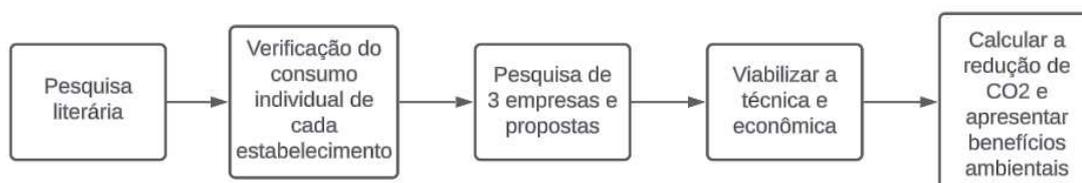
Os proprietários do empreendimento comercial e do salão de eventos optaram por não divulgar os nomes, a estrutura e a localização exata dos estabelecimentos. No entanto, devido à necessidade de reduzir os custos com energia elétrica, identificou-se a viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico para atender à demanda energética do empreendimento.

Durante o planejamento, verificou-se que metade das placas solares necessárias ocuparia toda a área disponível no empreendimento comercial. Para viabilizar a instalação completa do sistema, decidiu-se utilizar o salão de eventos, localizado próximo à cidade, para acomodar a outra metade das placas. Dessa forma, foi possível garantir a instalação integral do sistema fotovoltaico, otimizando o aproveitamento da geração de energia.

6.2 Métodos

Primeiramente foram pesquisadas e consultadas obras bibliográficas referentes ao tema, para ajudar a compreensão sobre a energia renovável fotovoltaica e seus modelos de geração de energia, seguindo a Figura 11.

Figura 9 - Fluxograma da metodologia aplicada



Fonte: Autoria Própria (2025)

O levantamento foi fundamentado também na resolução normativa REN 482/2012 e sua atualização REN 687/2015, além da Lei 14.300 de 2022.

Foi verificado junto aos responsáveis dos estabelecimentos, o consumo médio individualizado, deste modo, foi considerado os itens de consumo de cada local, para então, estimar a média de consumo para o dimensionamento do sistema (recomenda-se calcular o consumo médio real dos últimos 12 meses. Com essas avaliações pode-se concluir que a média de consumo nos dois lugares (Empreendimento Comercial e Salão de Eventos) é de aproximadamente 7400 kWh.

Com o valor em mãos, foram consultadas três empresas da região para elaboração de propostas orçamentárias voltadas à demanda de energia do condomínio. Em seguida, analisou-se tanto a estrutura do empreendimento comercial quanto as características do salão de eventos, uma vez que o estudo abrangeu dois estabelecimentos distintos. Foi verificada a viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico, considerando opções em telhados ou em áreas de solo.

Com base nas características técnicas e nos orçamentos obtidos para o sistema fotovoltaico, realizou-se a análise da viabilidade econômica do projeto. O *payback* descontado foi calculado levando em conta o investimento inicial, as despesas e as receitas geradas ao longo dos anos, com o objetivo de determinar em qual ano o sistema fotovoltaico passará a ser lucrativo para os estabelecimentos. De acordo com Ribeiro (2019b), o cálculo é realizado utilizando-se a Equação 5:

$$\text{Paybackdescontado} = N + y$$

$$\frac{FCn}{360} = x(5)$$

$$\frac{FCa}{x} = y$$

Temos que:

$FCn = \text{Fluxodecaixadoanoreferência}$

$FCa = \text{Fluxodecaixaacumuladoàreferência}$

$N = \text{PrimeiroanodeLucro}$

$x = \text{Valorresultante};$

$y = \text{Valorresultanteemdias}$

Logo após foi criado um Quadro 1, de critérios para a avaliação das melhores propostas, além do retorno em tempo verificado no *payback* descontado.

Quadro 1 - Critérios estabelecidos para a Análise

Critérios			
Investimento/Custo			
Garantia			
Atendimento/Comunicação			
Orçamento detalhado			
Prazo de instalação			
Pontuação			
Legenda: (1 – Regular); (2 – Bom); (3 – Excelente)			

Fonte: Autoria Própria (2025)

Os seguintes critérios foram adotados para as avaliações das propostas:

Critérios	Regular	Bom	Excelente
Investimento/Custo	Maior valor	Valor intermediário	Menor valor
Garantia	Menor tempo de garantia	Tempo de garantia intermediário	Maior tempo de garantia
Atendimento/Comunicação	Maior tempo de resposta	Tempo de resposta intermediário	Menor tempo de resposta
Orçamento detalhado	Informações insuficientes	Informações necessárias	Maior número de informações
Prazo de instalação	Maior tempo de instalação	Tempo de instalação intermediária	Menor tempo de instalação
Pontuação	1	2	3
Legenda: (1 – Regular); (2 – Bom); (3 – Excelente)			

Fonte: Bruno Peres (2023)

Segundo RASOTO et. al. (2012) o Valor Presente Líquido (VPL) é calculado subtraindo-se do valor inicial de um projeto o valor presente das entradas líquidas de caixa, descontadas a uma taxa igual ao custo do capital da empresa. A Equação 6 é:

$$VPL_{(n)} = \frac{FC_{(n)}}{(1+i)^n} \quad (6)$$

Onde:

$$VPL = \text{Valor presente líquido (R\$)}$$

$$FC(n) = \text{Fluxo de caixa no período (t) (R\$)}$$

$$n = \text{Número de períodos (t)}$$

$$i = \text{Taxa básica de juros (SELIC) (\%)}$$

De acordo com Galesne et al. (1999, p. 35–46) a Taxa Interna de Retorno (TIR) irá representar em termos de taxa de juros, a rentabilidade do projeto, pois é a taxa de desconto com qual o VPL é igual a 0, conforme a Equação 7:

$$0 = \textit{investimentoinicial} + \frac{FC_{(n)}}{(1 + TIR)^n} \quad (7)$$

O Retorno sobre o Investimento (ROI) foi calculado conforme Equação 8 abaixo descrita por Hoji (2017).

$$ROI = \frac{(\textit{Ganhoobtido} - \textit{Investimentoinicial})}{\textit{Investimentoinicial}} \times 100 \quad (8)$$

Assim, com o cálculo do *payback* descontado, verificou-se em quanto tempo, o retorno obtido pelo investimento do sistema cobrirá o valor do investimento inicial. Por fim, foi verificado o quantitativo de CO₂ que o condomínio deixará de emitir se utilizar o sistema fotovoltaico, conforme Equação 9:

$$\textit{EmissãodetoneladasdeCO}_2\textit{evitada} = \textit{energiagerada} \times \textit{fatormédioderesultante} \quad (9)$$

Ao extrair o fator de emissão médio de CO₂ da geração de energia elétrica pelo Sistema Interligado Nacional do Brasil, e possuir o conhecimento do total que geraria a instalação solicitada em 12 meses equivalente a 60,468 MWh, conseguiu-se estimar a quantidade de CO₂ em toneladas que seria evitada ao implementar o sistema de energia solar.

6.3 Análise das propostas

Foram solicitados três orçamentos a empresas da região para a implementação de um sistema fotovoltaico, conforme especificado nos projetos. As propostas foram analisadas com base em critérios objetivos, incluindo custo-benefício, investimento inicial, condições de pagamento, garantias oferecidas, qualidade do atendimento ao cliente e prazo de execução. Os valores de investimento e as condições propostas foram consolidados, considerando os dados fornecidos por cada empresa, a fim de

identificar as melhores opções para o empreendimento. A análise financeira foi realizada com base nas informações disponibilizadas em 2024, conforme detalhado no Quadro 2.

Quadro 2 - Informações sobre tarifas para cálculo do payback descontado

Descrição	Valor
Tarifa do kWh	R\$ 0,87
<i>Variação das tarifas</i>	10,50%
Depreciação dos painéis	0,70%
Taxa de juros (SELIC, maio/2024)	12,5 % ao ano

Fonte: Autoria Própria (2025)

No orçamento apresentado pelas empresas A, B e C, têm-se o valor do investimento com equipamentos e serviços descritos no Quadro 3.

Quadro 3 - Equipamentos e serviços apresentados no orçamento para as empresas.

Equipamentos e serviços – B	Quantidade
Localidade	Franca - SP
Tipo de estrutura	Telhado
Potência dos painéis	550 W
Quantidade de módulos	113 unidades (66 para + 47 para Empreendimento Comercial)
Inversores	2 Solis Trifásico 15K 220V + 1 Solis Trifásico 20K 220V
Cabo Solar 6mm	Incluso
Conectores MC4	Incluso
Estrutura de alumínio	Adequada ao telhado
String Box	Incluso
Material elétrico	Incluso
Serviços de instalação	Incluso
Projeto e ART	Incluso
Acompanhamento junto à distribuidora	Incluso
Monitoramento via web	Incluso
Valor do investimento	R\$ 160.900,00

Prazo de entrega	60 dias
Garantia	10 anos
Equipamentos e serviços – A	Quantidade
Módulos fotovoltaicos	Canadian Monocristalinos Half Cell (590W) - 106 unidades
Inversor	Honor Solar (Potência total de 10,24 kW) - 2 unidades
Estrutura de fixação	Incluso
String box (CA e CC)	Incluso
Cabeamento	Incluso
Valor do investimento	R\$ 122.216,86
Prazo de entrega	45 dias
Garantia	25 anos
Equipamentos e serviços – C	Descrição Consolidada
Tipo de estrutura	Telhado
Potência dos painéis	610 W
Quantidade de módulos	104 unidades
Inversores	1 Inversor Trifásico SOFAR 50K 220V
Cabo Solar 6mm	Incluso
Conectores MC4	Incluso
Estrutura de alumínio	Adequada ao telhado
String Box	Incluso
Material elétrico	Incluso
Serviços de instalação	Incluso
Projeto e ART	Incluso
Acompanhamento junto à distribuidora	Incluso
Monitoramento via web	Incluso
Valor do investimento	R\$ 126.300,00
Prazo de entrega	60 dias
Garantia	10 anos

Fonte: Autoria Própria (2025)

Desse modo, calculou-se o *payback* descontado para as empresas analisadas, conforme apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Cálculo do *Payback* descontado do orçamento para as empresas

A	
Investimento	122.213,86
Ano	Fluxo Descontado
0	-R\$ 122.216,86
1	R\$ 55.124,96
2	R\$ 51.027,88
3	R\$ 47.568,86
<i>Payback</i> (anos)	2,6 anos
B	
Investimento	160.900,00
Ano	Fluxo Descontado
0	-R\$ 160.900,00
1	R\$ 70.013,44
2	R\$ 62.238,61
3	R\$ 55.362,66
<i>Payback</i> (anos)	2,52 anos
C	
Investimento	126.300,00
Ano	Fluxo Descontado
0	-R\$ 126.300,00
1	R\$ 94.725,00
2	R\$ 87.000,00
3	R\$ 80.000,00
<i>Payback</i> (anos)	1,36 anos

Fonte: Autoria Própria (2025)

Com base nos orçamentos e no cálculo do *payback* descontado de cada empresa, a análise realizada com os critérios propostos no Quadro 1 indicou a Empresa A como a mais adequada para o empreendimento. Apesar de apresentar o maior valor de investimento entre as opções, a Empresa A destacou-se por oferecer

um orçamento detalhado, excelente comunicação com o cliente e um prazo de garantia satisfatório, fatores determinantes para sua escolha.

Quadro 4 - Análise e atribuições das notas conforme critérios estabelecidos

Empresas	A	B	C
Critérios	Regular	Bom	Excelente
Investimento/Custo	3	1	2
Garantia	3	2	2
Atendimento/Comunicação	3	1	2
Orçamento detalhado	3	2	1
Prazo de instalação	3	2	1
Pontuação	15	8	8
Legenda: (1 – Regular); (2 – Bom); (3 – Excelente)			

Utilizando os valores apresentados no orçamento pela empresa escolhida na Equação 2, anteriormente descrita, calculou-se o VPL total em 10 anos como demonstrado na Tabela 3 a seguir:

Tabela 2 - Resultados do VPL total em 10 anos da empresa A

Ano	Fluxo de Caixa (R\$)	Fator de Desconto	Valor Presente (R\$)
0	-122.216,86	1,0000	-122.216,86
1	-67.091,90	1,1250	-59.637,24
2	-16.064,02	1,2656	-12.692,56
3	31.504,84	1,4238	22.126,86
4	79.073,70	1,6018	49.365,32
5	126.642,56	1,8020	70.277,62
6	174.211,42	2,0273	85.933,30
7	221.780,28	2,2807	97.242,31
8	269.349,14	2,5658	104.977,30
9	316.918,00	2,8865	109.792,89
10	364.486,86	3,2473	112.242,32
Total	-	-	457.411,26

Fonte: Autoria Própria (2025)

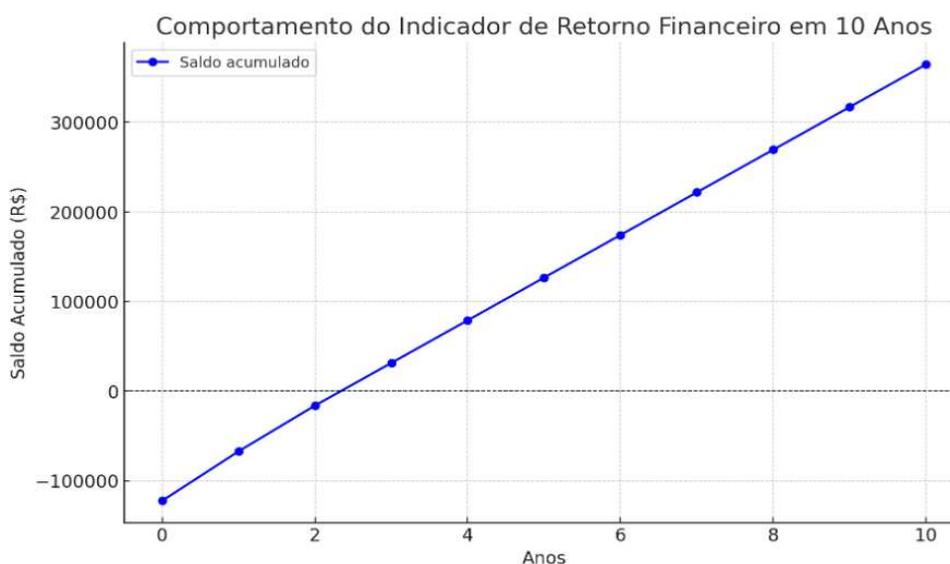
Com base nas análises realizadas e nos dados apresentados, conclui-se que as três propostas avaliadas para a geração de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos são economicamente viáveis. Todas resultam em retorno financeiro positivo, como demonstrado pelos cálculos de *payback*, Retorno sobre o Investimento (ROI) e Valor Presente Líquido (VPL).

A proposta da empresa A, com um investimento inicial de R\$ 122.216,86, apresenta um prazo de *payback* de 2,6 anos. Embora o período de retorno seja relativamente maior em comparação a outras propostas, o saldo acumulado ao longo de 10 anos é bastante atrativo, totalizando R\$ 364.486,86. Esse resultado confirma que a A oferece uma alternativa economicamente viável e competitiva.

Considerando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 12,5% ao ano, todas as propostas avaliadas apresentaram uma Taxa Interna de Retorno (TIR) superior a esse valor, o que valida a atratividade dos investimentos. Além disso, o ROI projetado em 10 anos, de 18,84%, indica um retorno financeiro estável e positivo em relação ao capital investido.

Dessa forma, os sistemas fotovoltaicos propostos não apresentam risco de prejuízo, sendo alternativas sólidas e recomendáveis para implementação, levando em conta os critérios técnicos, econômicos e o contexto de mercado atual.

Figura 10 - Comportamento do indicador de retorno financeiro com relação aos 10 anos



Fonte: Autoria Própria (2025)

Segundo Brasil (2023) Em 2024, o fator de emissão médio é de $0,0372 \text{ toneladas de } CO_2$ por megawatt – hora (tCO_2/MWh). A quantidade de CO_2 evitada pode ser calculada da seguinte forma utilizando a Equação 5:

$$CO_2 \text{ evitado} = 60,468 MWh \times 0,0372 \frac{tCO_2}{MWh} = 2,249 \text{ toneladas de } CO_2$$

A cada tonelada de emissão de Gás Carbônico (CO_2) é necessário o plantio de 7,14 árvores para que o planeta não sofra os danos causados por esta emissão.

Portanto, para o caso em estudo, com a instalação deste sistema, a emissão de toneladas de CO_2 evitada, seria equivalente ao plantio de, aproximadamente 16 árvores por ano.

7 CONCLUSÃO

Com a análise de viabilidade econômica para a implementação do sistema fotovoltaico na Empreendimento Comercial e o Salão de Eventos, em Franca – SP, conclui-se que o investimento necessário para a instalação do sistema, considerando o *payback* descontado, seria recuperado em aproximadamente 2,6 anos (31 meses). Esse período relativamente curto reforça a atratividade do projeto, tornando-o uma alternativa promissora para a geração de energia elétrica com significativa economia a longo prazo.

Além dos benefícios financeiros, a instalação do sistema fotovoltaico, reduzindo consideravelmente as emissões de CO₂ por ser uma fonte de energia limpa e renovável, com baixo custo de manutenção.

Diante desses resultados, fica evidente que a adoção do sistema fotovoltaico é uma solução vantajosa tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. No entanto, para garantir a viabilidade prática da instalação, recomenda-se a realização de estudos complementares que avaliem detalhadamente as condições estruturais dos estabelecimentos, a capacidade de suporte das edificações e possíveis adaptações necessárias.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR (São Paulo). Brasil avança no ranking mundial da fonte solar. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-avanca-no-ranking-mundial-da-fonte-solar/> Acesso em: 02 Novembro 2024.

AGÊNCIA BRASIL. Energia solar terá isenção fiscal para semicondutores. Agência Brasil, Brasília, 11 novembro 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-03/energia-solar-tera-isencao-fiscal-para-semicondutores>. Acesso em: 11 Agosto 2024.

ANEEL. REN 482/2012 - Regulamentação da Geração Distribuída no Brasil. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 17 Fevereiro 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). *Consulta Pública nº 49178*. ANEEL, [s.d.]. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=49178&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jsPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp. Acesso em: 25 Outubro. 2025.

ASG. *Tudo o que você precisa saber sobre energia solar para o agronegócio*. 2019. Disponível em: <https://www.asg.com.br/post/tudo-o-que-voc%C3%AA-precisa-saber-sobre-energia-solar-para-o-agroneg%C3%B3cio>. Acesso em: 25 Outubro. 2024.

ATWOLI, L. et al. *Call for emergency action to limit global temperature increases, restore biodiversity, and protect health*. *Cadernos de Saude Publica*, v. 37, n. 9, p. 1–5, 2021.

BOAS, L. C. L. S. V. *Energia fotovoltaica: estudo de viabilidade econômica de projeto de geração distribuída em Bom Jesus da Lapa*. 2017.

BRASIL, M. DE M. E E. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. p. 447, 2022b.

BMC ENERGIA. *Como funcionam os sistemas fotovoltaicos*. 2021. Disponível em: <http://www.bmcenergia.com.br/como-funcionam>. Acesso em: 25 Outubro 2024.

CASARIN, R. Especial: *Preços dos equipamentos solares tendem a seguir pressionados*. 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/consumidor/especial-precos-dos-equipamentos-solares-tendem-a-seguirem-pressionados>. Acesso em: 25 Agosto 2024.

CCEE. *Consumo de energia elétrica cresce 4,1% em 2021*, aponta CCEE. 2022. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/consumo-de-energia-eletricacresce-4-1>

em2021apontaccee#:~:text=Distribui%C3%A7%C3%A3o%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Mercado,Consumo%20de%20energia%20el%C3%A9trica%20cresce,1%25%20em%202021%2C%20aponta%20CCEE&text=De%20acordo%20com%20a%20C%C3%A2mara,em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20ao%20ano%20anterior. Acesso em: 01 Agosto 2024.

CEMIRIM. *Tarifas consumidor grupo de tensão*. 2018 Disponível em: <https://cemirim.com.br/consumidores-do-grupo-a-tensao-de-fornecimento-23-kv/>. Acesso em: 22 de Novembro 2024.

CHOI, J. et al. *Bifacial Solar Cell Technology and Applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 176, 2024.

COCAPEC. Figura 1: *Localização do município de Franca-SP. [S.l.]*, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Localizacao-do-municipio-de-Franca-SP-Fonte-adaptado-de-Cocapec-2008_fig1_273610931. Acesso em: 17 Novembro 2024.

COELHO, R.; SCHMITZ, L.; MARTINS, D. *Energia solar fotovoltaica: geração, conversão e aplicações*. 1. ed. Florianópolis: INEP/UFSC, 2022.

CRUZ, D. T. *Micro e minigeração eólica e solar no Brasil: Propostas para desenvolvimento do setor*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 1 157, 2015.

FF SOLAR. *Sistemas Autônomos. FF Solar, [s.d.]*. Disponível em: <https://www.ffsolar.com/index.php?lang=PT&page=sistemas-autonomos>. Acesso em: 16 Novembro 2025.

GALESNE, A; FENSTERSEIFER, J. E. e LAMB, R. *Decisões de Investimentos da Empresa*. São Paulo: Atlas, 1999.

GARCIA, Domingues L. *SISTEMA HÍBRIDO GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA PARA SUSTENTAÇÃO DE ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO*. 2018. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Hídrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/197710/001095355.pdf?sequence=1>. Acesso em: 01 Agosto 2024.

GITMAN, L. J. *Princípios de Administração Financeira*. 13. ed. Pearson Education, 2020.

GRÄTZEL, M. *Progress in Dye-Sensitized Solar Cells. Nature Materials*, v. 23, 2024.

GREEN, Ekko. *Energia Solar No Brasil: Situação e Perspectivas Para 2022*. Disponível em: <https://ekkogreen.com.br/energia-solar-no-brasil/#:~:text=Estimase%20que%20at%C3%A9%202024,manuten%C3%A7%C3%A3o%20nacional%20e%20prote%C3%A7%C3%A3o%20ambiental>. Acesso em: 23 Setembro 2024.

GREENER IDEAL. *Solar panel basics: what solar panels are made of*. Disponível em: <https://greenerideal.com/guides/0613-solar-panel-basics-what-solar-panels-are-made-of/>. Acesso em: 17 Outubro 2025.

HOJI, M. *Administração financeira e orçamentária: matemática financeira aplicada, estratégias financeiras, orçamento empresarial*. 12 ed. São Paulo: Atlas, 2017.

IEA. *Renewables 2021: Analysis and forecast to 2026*. International Energy Agency, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>. Acesso em: 10 Novembro 2024.

IEA. *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. International Energy Agency, p. 224, 2021.

IEA, *Explore energy data by category, indicator, country or region*. IEA, Paris, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/datatables?country=WORLD> Acesso em 27 Novembro de 2024.

IEA. *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. International Energy Agency, p. 224, 2021b. IEA. *Renewables 2021*. International Energy Agency (IEA) Publications International., p. 167, 2021a.

LAZZARIN, R. *Evolução tecnológica de sistemas fotovoltaicos ao longo dos tempos: estudo de caso de uma propriedade rural no município de Cascavel/PR*. 2023. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2023. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/6598>. Acesso em: 17 Fevereiro 2025.

LIMA,; NUNES, L.. *GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA ON-GRID E OFF-GRID*. 2022. 8 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido - Ufersa, Mossoró, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/9058/1/JaciaraRL_ART.pdf. Acesso em: 01 Setembro 2024.

LIMA J., Mota. *E A ENERGIA FOTOVOLTAICA NO AGRONEGÓCIO - GESTÃO DE CUSTOS E RISCOS, DIVERSIFICAÇÃO DE RECEITA E EXTERNALIDADES*. 2019. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronegócio, Escola de Economia de São Paulo, da Fundação Getulio Vargas – Eesp – Fgv, São Paulo, 2019. Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/27582/Disserta%c3%a7%c3%a3o_MPAGRO_FGV-Elias%20Lima%20-%20formatada%20final%20RRML.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 01 Setembro 2024.

MARQUES, F. et al. *Irradiância solar (global, direta e difusa): metodologia de controlo de qualidade: aplicação a séries temporais medidas no les/Ineg, lisboa*. In: CIES2020 - XVII CONGRESSO IBÉRICO E XIII CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENERGIA SOLAR, 17., 2022, Lisboa, Portugal. CIES2020 - XVII Congresso Ibérico e XIII Congresso Ibero-americano de Energia Solar. [S.L.]: Lneg - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2020. p. 853-860.

MILANGE, A. *Avaliação de corantes para células solares*. 2022. Dissertação (Mestrado em Química – Controlo da Qualidade e Ambiente) – Universidade de Coimbra, Coimbra, Fevereiro de 2022. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10316/99396>. Acesso em: 17 Fevereiro 2025.

NASCIMENTO, R. L. *Energia solar no Brasil: situação e perspectivas*. Estudo Técnico, p. 1–46, 2017

NETO, R. S.; CATARINA, D.; GEREMIAS, R. *A MICRO E MINIGERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA COMO POLÍTICA PÚBLICA PARA SUSTENTABILIDADE*. 2016.

NETTO, A.; URBANETZ J.. *ANÁLISE DA GERAÇÃO COMPARTILHADA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL*. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 9., 2022, Florianópolis. Anais [...] . Florianópolis: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2022. p. 0-10. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1203/1203>. Acesso em: 01 Setembro 2024.

NOGUEIRA, Paulo. *Geração de energia solar alcança marca histórica no planeta e o Brasil é visto como um dos principais mercados, dado o volume de parques fotovoltaicos que serão instalados até 2026*. Disponível em: <https://clickpetroleoegas.com.br/geracao-de-energia-solar-alcanca-marca-historicano-planeta-e-o-brasil-e-visto-como-um-dos-principais-mercados-dado-o-volume-deparques-fotovoltaicos-que-serao-instalados-ate-2026/>. Acesso em: 25 Setembro 2024.

OLIVEIRA, Arthur. Artigo: *Como a inteligência artificial pode dar confiabilidade a uma matriz energética limpa e renovável*. 2022. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/opiniao/2022/08/5029297-artigo-como-a-inteligencia-artificial-pode-dar-confiabilidade-a-uma-matriz-energetica-limpa-e-renovavel.html>. Acesso em: 07 Novembro 2024.

PEREIRA, G t al. CÉLULA FOTOVOLTAICA DE PEROVSKITA: UMA REVISÃO DO ESTADO DA ARTE. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 151–161, 2024. DOI: 10.59627/rbens.2024v15i2.472. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/472>. Acesso em: 17 Fevereiro 2025.

PERES, B. *Estudo de implantação de sistema fotovoltaico em edifício com três pavimentos, na cidade de Campo Mourão-PR*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2023. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/32294/1/implantacaosistemafotovoltaicoedificio.pdf>. Acesso em: Fevereiro 2025.

PHILIPPI, J. A; REIS, L. B. dos. *Energia e sustentabilidade*. [S.l.]:Manole,2016. Disponível em:<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555761313>. Acesso em: 17 Fevereiro 2025.

RASOTO, A. et al. *Gestão Financeira: enfoque em Inovação*. Curitiba: Aymarã Educação, 2012.

RIBEIRO, Flávia. *ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID EM PIQUIRIVAÍ – PARANÁ*. 2019. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão - Pr, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7088>. Acesso: 17 Fevereiro 2025.

RIEDEL-LYNGSKÆR, N.; RIBACONKA, R.; PO, M.; THORSETH, A.; THORSTEINSSON, S. *The effect of spectral albedo in bifacial photovoltaic performance*. Solar Energy, 2022.

RIEDEL-LYNGSKÆR, N.; RIBACONKA, R.; PO, M.; THORSETH, A.; THORSTEINSSON, S. *The effect of spectral albedo in bifacial photovoltaic performance*. Solar Energy, 2022.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. *Corporate Finance*. 12. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2019.

RÜTHER, R. *Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil*. FLORIANÓPOLIS: UFSC, 2004.

SANTANA, Lucas. *Resolução 482 da ANEEL: 3 Principais Pontos Comentados [+BÔNUS]*. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/resolucao-482-da-aneel-guiaCompleto/>. Acesso em: 25 Setembro 2024.

SOLAR BRASIL. *Sistemas conectados a rede*.2019 Disponível em: <https://www.solarbrasil.com.br/blog/o-que-sao-os-sistemas-conectados-a-rede-on-grid-2/>. Acesso em: 25 Setembro 2024.

SOLAR, Blue Sol Energia. *Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (On Grid): o guia 100% completo*.2022. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>. Acesso em: 01 Agosto 2024.

SOLAR, Portal. *Alemanha está perto de ter matriz energética somente com energia renovável*. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/materias/alemanha-esta-perto-de-ter-matriz-energetica-somente-com-energia-renovavel>. Acesso em: 10 Outubro 2024.

VILELA, P. Crise hídrica e o impacto nas tarifas de energia. **Revista Brasileira de Energia**, v. 27, n. 3, p. 45-60, 2021.

WANG, Y. et al. *Advances in Monocrystalline and Polycrystalline Solar Cells*. *Journal of Renewable Energy Science*, v. 12, n. 2, p. 89-105, 2023.

YOON, S. et al. *High-Efficiency Multijunction Solar Cells*. *Applied Physics Letters*, v. 118, n. 4, p. 55-72, 2021.

ZANESCO, I. et al. DESENVOLVIMENTO DA CÉLULA SOLAR COM MAIOR EFICIÊNCIA NO BRASIL COM PROCESSO INDUSTRIAL. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 41–48, 2019. DOI: 10.59627/rbens.2018v9i1.233. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/233>. Acesso em: 17 Fevereiro 2025.

ZHAO, L. et al. *Efficiency Improvements in Thin-Film Solar Cells*. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 220, p. 1-12, 2023.