



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---

Pedro de Oliveira Galvão Rebello

## **VIABILIDADE ECONÔMICA DE EXPLORAÇÃO E USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA**

**Ouro Preto – MG**

**2025**

Pedro de Oliveira Galvão Rebello

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE EXPLORAÇÃO E USO DE ENERGIA  
FOTOVOLTAICA**

Trabalho Final de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção  
do Grau de Engenheiro Civil na  
Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Prof. Ernani Carlos de Araújo –  
UFOP

Área de concentração: Energia Solar

**Ouro Preto - MG**

**2025**



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Pedro de Oliveira Galvão Rebello**

### **Viabilidade econômica de exploração e uso de energia fotovoltaica**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em Engenharia Civil

Aprovada em 24 de Abril de 2025

#### Membros da banca

Professor Doutor Ernani Carlos de Araújo - Orientador Universidade Federal de Ouro Preto  
Professora Doutora Marcela Paula Groberio - Universidade Federal de Ouro Preto  
Professor Doutor Geraldo Donizetti de Paula - Universidade Federal de Ouro Preto

Ernani Carlos de Araujo, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 13/05/2025



Documento assinado eletronicamente por **Ernani Carlos de Araujo, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/05/2025, às 19:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0909998** e o código CRC **07C7E8B2**.

## RESUMO

Este estudo analisa a viabilidade econômica e técnica da energia fotovoltaica em diferentes contextos, como áreas urbanas, rurais e isoladas. O objetivo geral é avaliar os impactos financeiros, operacionais e ambientais dessa tecnologia, enquanto os objetivos específicos incluem a análise dos custos iniciais e retorno sobre o investimento (ROI), identificação das principais aplicações técnicas e proposição de estratégias para superar desafios relacionados à intermitência e ao armazenamento de energia. A relevância do estudo está ancorada na crescente demanda por fontes renováveis que reduzam os impactos ambientais e os custos associados à geração de energia. Além disso, destaca-se a importância da integração de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), para otimizar o consumo e maximizar a eficiência dos sistemas solares. Os resultados indicam que a energia fotovoltaica apresenta uma viabilidade econômica significativa, especialmente em regiões com alta insolação, e oferece benefícios sociais ao promover o acesso à eletricidade em comunidades isoladas. A pesquisa também evidencia a necessidade de políticas públicas e incentivos governamentais para ampliar a disseminação dessa tecnologia. Este estudo contribui para o avanço do conhecimento científico e fomenta o debate sobre a transição energética global.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica, viabilidade econômica, sustentabilidade, IoT, políticas públicas.

## **ABSTRACT**

This study analyzes the economic and technical feasibility of photovoltaic energy in different contexts, such as urban, rural and isolated areas. The general objective is to evaluate the financial, operational and environmental impacts of this technology, while the specific objectives include the analysis of initial costs and return on investment (ROI), identification of the main technical applications and proposal of strategies to overcome challenges related to intermittency and energy storage. The relevance of the study is anchored in the growing demand for renewable sources that reduce environmental impacts and costs associated with energy generation. In addition, the importance of integrating emerging technologies, such as the Internet of Things (IoT), to optimize consumption and maximize the efficiency of solar systems is highlighted. The results indicate that photovoltaic energy presents significant economic viability, especially in regions with high insolation, and offers social benefits by promoting access to electricity in isolated communities. The research also highlights the need for public policies and government incentives to expand the dissemination of this technology. This study contributes to the advancement of scientific knowledge and fosters debate on the global energy transition.

**Keywords:** Photovoltaic energy, economic viability, sustainability, IoT, public policies.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
1.1 Problema.....	7
1.2 Objetivo geral.....	7
1.3 Objetivos específicos .....	7
1.4 Justificativa .....	8
1.5 Metodologia .....	10
<b>2 Fundamentação teórica</b> .....	<b>11</b>
2.1 Energia Solar Fotovoltaica .....	11
2.1.1 Efeito Fotovoltaico .....	13
2.1.2 O Recurso Solar .....	15
2.2 Redes ONGRID e OFFGRID .....	23
<b>3 Energia fotovoltaica para fins residenciais</b> .....	<b>25</b>
3.1 IoT E ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PROJETOS RESIDENCIAIS .....	26
<b>4 Utilização da energia fotovoltaica para agropecuária e indústria</b> .....	<b>29</b>
4.1 Agropecuária.....	29
4.2 EXPLORAÇÃO da energia solar pela Indústria .....	39
<b>5 Viabilidade econômica</b> .....	<b>42</b>
5.1. Custos Iniciais e Investimento.....	42
5.2 Redução de Custos Operacionais.....	45
5.3 Retorno sobre o Investimento (ROI) .....	47
5.4 Aspectos Ambientais e Sustentabilidade .....	50
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>

## INTRODUÇÃO

A viabilidade econômica e técnica do uso de energia fotovoltaica tem sido amplamente discutida em estudos recentes, especialmente considerando o potencial dessa tecnologia para transformar diversos setores. Aguiar (2021) destaca o papel da energia solar na automação de sistemas, como a irrigação automatizada para plantas em ambientes indoor. Essa aplicação demonstra como a integração de painéis fotovoltaicos pode reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência energética, tornando-se uma solução prática e sustentável para contextos específicos.

Do ponto de vista técnico, a energia fotovoltaica apresenta vantagens significativas, como a capacidade de minimizar perdas no sistema elétrico. De acordo com a ANEEL (2019), as perdas de energia na distribuição convencional podem ser substancialmente reduzidas com a adoção de geração distribuída, como os sistemas solares conectados à rede elétrica. Essa característica não apenas melhora a eficiência do sistema, mas também contribui para a viabilidade econômica ao reduzir desperdícios e otimizar o uso da energia gerada localmente.

Além disso, estudos como os de Araujo (2021) destacam que a microgeração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos é uma alternativa economicamente atrativa para residências e pequenas empresas. O autor argumenta que o retorno sobre o investimento (ROI) é acelerado pela economia nas contas de energia e pelos incentivos governamentais, como créditos energéticos e financiamentos específicos. Esse cenário é reforçado por Costa (2023), que explora o uso de redes IoT para monitoramento e otimização do consumo de energia em ambientes residenciais, maximizando os benefícios dos sistemas solares.

Outro aspecto relevante é a aplicação da energia fotovoltaica em sistemas de bombeamento de água, conforme discutido por Eker (2005). O autor demonstra que o uso de energia solar para bombas d'água é uma solução técnica e economicamente viável, especialmente em áreas rurais ou isoladas. Essa abordagem é complementada pelo Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos de Pinho e Galdino (2014), que fornece diretrizes técnicas para dimensionamento e implementação de sistemas solares, garantindo sua eficiência e durabilidade.

Por fim, o estudo de Rella (2017) sobre a evolução da energia fotovoltaica no Brasil reitera a importância de avaliar tanto a viabilidade técnica quanto a econômica dessa tecnologia. O autor ressalta que, embora os custos iniciais ainda sejam um

desafio, os avanços tecnológicos e a maior disponibilidade de incentivos têm tornado os sistemas solares mais acessíveis e atrativos. Essa combinação de fatores técnicos, econômicos e ambientais reforça o papel estratégico da energia fotovoltaica no futuro da matriz energética global.

## 1.1 PROBLEMA

A crescente demanda por fontes de energia limpas e sustentáveis tem impulsionado a adoção da energia solar fotovoltaica como uma alternativa viável para reduzir os impactos ambientais e os custos associados à geração de energia. No entanto, apesar dos avanços tecnológicos e dos incentivos governamentais, ainda há desafios significativos que limitam sua ampla disseminação. Questões como os altos custos iniciais de instalação, a intermitência da fonte solar e a necessidade de armazenamento eficiente de energia são barreiras que precisam ser superadas. Além disso, a viabilidade econômica e técnica da energia fotovoltaica varia de acordo com o contexto de aplicação, seja em áreas urbanas, rurais ou isoladas. Diante disso, como garantir que a energia solar seja uma solução acessível, eficiente e sustentável para diferentes cenários, maximizando seus benefícios econômicos e ambientais?

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade econômica e técnica do uso da energia fotovoltaica em diferentes contextos, considerando seus impactos na redução de custos, na eficiência energética e na sustentabilidade ambiental.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2 Avaliar os custos iniciais e o retorno sobre o investimento (ROI) da energia fotovoltaica, considerando fatores como localização geográfica, tarifas de energia e políticas de incentivo, conforme destacado por autores como Shayani, Oliveira e Camargo (2006) e Batista et al. (2020).
- 3 Identificar as principais aplicações técnicas da energia fotovoltaica, desde sistemas de irrigação automatizada em ambientes indoor (Aguiar, 2021 ) até soluções integradas em edificações urbanas (Rüther, 2004 ), e analisar como essas tecnologias podem ser adaptadas a diferentes setores.

- 4 Propor estratégias para superar os desafios relacionados à intermitência e ao armazenamento de energia solar, explorando avanços em sistemas de baterias e automação residencial, conforme discutido por Rossi (2023) e Costa (2023).

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

A relevância acadêmica deste estudo reside na necessidade de ampliar o entendimento sobre a viabilidade econômica e técnica da energia fotovoltaica, tema que tem ganhado destaque no cenário global de transição energética. Conforme destacado por Shayani, Oliveira e Camargo (2006), há uma lacuna significativa na comparação sistemática entre os custos da energia solar e outras fontes convencionais, especialmente em contextos específicos como áreas rurais ou isoladas. Este estudo busca preencher essa lacuna ao analisar os impactos financeiros e operacionais da adoção de sistemas fotovoltaicos, contribuindo para o avanço do conhecimento científico na área de energias renováveis.

Além disso, a integração de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), ao uso da energia solar, conforme explorado por Costa (2023) e Sarmiento et al. (2021), representa um campo promissor para pesquisas acadêmicas. A aplicação dessas tecnologias pode otimizar o consumo de energia e maximizar a eficiência dos sistemas solares, abrindo novas possibilidades para a automação residencial e industrial. Este estudo justifica-se academicamente ao propor uma análise integrada dessas inovações, oferecendo subsídios para futuras pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos.

Do ponto de vista social, a energia fotovoltaica apresenta um potencial transformador, especialmente em comunidades isoladas ou com acesso limitado à rede elétrica convencional. Como demonstrado por Miki (2019) e Guaragnio (2017), a implementação de sistemas solares nessas regiões pode melhorar significativamente a qualidade de vida, proporcionando acesso a eletricidade de forma sustentável e economicamente viável. Este estudo justifica-se socialmente ao destacar essas oportunidades, reforçando o papel da energia solar como ferramenta de inclusão social e desenvolvimento econômico.

Outro aspecto relevante é a contribuição da energia fotovoltaica para a mitigação dos impactos ambientais associados às fontes tradicionais de energia. Chiarello e Santos (2018) enfatizam que a energia solar é uma alternativa limpa e

renovável, com menor pegada ecológica. Ao analisar sua viabilidade técnica e econômica, este estudo busca evidenciar os benefícios ambientais dessa tecnologia, promovendo sua adoção como parte de uma matriz energética mais sustentável e alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Na esfera agrícola, a energia fotovoltaica também desempenha um papel estratégico, conforme apontado por Aroonsrimorakot et al. (2020) e Eker (2005). O uso de sistemas solares para irrigação e bombeamento de água pode aumentar a produtividade agrícola, reduzir custos operacionais e minimizar o impacto ambiental. Este estudo justifica-se ao explorar essas aplicações, fornecendo insights práticos para agricultores e formuladores de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento rural sustentável.

A relevância social deste estudo também está ligada à sua contribuição para a educação e conscientização sobre energias renováveis. Silva (2023) ressalta a importância de disseminar o conhecimento sobre a energia solar para promover sua adoção em larga escala. Ao abordar aspectos técnicos, econômicos e ambientais, este estudo busca não apenas informar, mas também engajar diferentes públicos na discussão sobre a transição energética e suas implicações para o futuro.

Por fim, este estudo se justifica pela sua contribuição ao debate sobre políticas públicas e incentivos governamentais para a energia solar. Aneel (2019) e Mme e Epe (2020) destacam que programas de financiamento e isenções fiscais são fundamentais para estimular a adoção dessa tecnologia. Ao analisar a viabilidade econômica e técnica da energia fotovoltaica, este estudo fornece subsídios para a formulação de políticas mais eficazes, garantindo que os benefícios da energia solar alcancem um número maior de consumidores.

Em suma, a relevância acadêmica e social deste estudo está intrinsecamente ligada à sua capacidade de contribuir para o avanço do conhecimento científico, promover o desenvolvimento sustentável e fomentar políticas públicas que incentivem a adoção da energia solar. Ao abordar temas como viabilidade econômica, inovação tecnológica e impacto social, este trabalho busca não apenas responder a questões específicas, mas também inspirar mudanças significativas no modo como a sociedade gera e consome energia.

## 1.5 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo consistiu na realização de um levantamento bibliográfico em repositórios acadêmicos, com uma abordagem analítica qualitativa. Inicialmente, foi conduzida uma pesquisa sistemática em bases de dados acadêmicas reconhecidas, tais como PubMed, Scopus e Google Scholar, utilizando palavras-chave relevantes relacionadas ao tema de interesse.

Após a seleção dos artigos pertinentes, foi realizado um processo de triagem com base em critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Os critérios de inclusão consideraram a relevância do conteúdo para o objeto de estudo, bem como a atualidade e a qualidade dos artigos. Por outro lado, os critérios de exclusão foram aplicados para filtrar artigos duplicados, fora do escopo ou de baixa qualidade metodológica.

Em seguida, os artigos selecionados foram analisados de forma qualitativa, utilizando técnicas de análise de conteúdo. Esta abordagem permitiu identificar e sintetizar os principais temas, conceitos e tendências presentes na literatura relacionada ao assunto em questão. Foram consideradas as semelhanças, diferenças e relações entre os diferentes estudos, visando obter uma compreensão aprofundada do tema e fundamentar as conclusões do estudo.

Os resultados da análise foram interpretados à luz do referencial teórico adotado, com o objetivo de gerar insights e contribuições relevantes para a área de estudo. Esta metodologia proporcionou uma abordagem sistemática e rigorosa para explorar a literatura disponível, permitindo uma compreensão mais abrangente e fundamentada do tema em análise.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Destaca-se a energia solar fotovoltaica como sendo a geração de eletricidade oriunda da transformação da luz do Sol captada por placas solares expostas a céu aberto e transformada em energia elétrica. Como o aumento da demanda por obtenção e uso de energia elétrica em todo mundo ampliou-se demasiadamente, a necessidade de novas pesquisas referentes a fontes de energia limpa, sobretudo fontes renováveis, são imprescindíveis. Segundo os dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), trata-se de 1,7% da matriz elétrica brasileira. A luz ou radiação solar que se apresenta na forma de propagação de energia luminosa por intermédio de ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol sem que haja a necessidade de um meio material para que isso ocorra, fornece anualmente, para a atmosfera terrestre,  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia. Trata-se de um valor bastante elevado, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia. Este fato vem a indicar-nos que, além de ser responsável pela manutenção da vida na terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia térmica, elétrica, etc. (PINHO e GALDINO, 2014).

A publicação feita pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª edição, 2017) mostra que o Brasil possui um grande potencial onde até mesmo no local menos ensolarado do Brasil é viável implantar sistemas de energia solar fotovoltaica. Ao longo do século, uma especial atenção de forma crescente está sendo dada ao estudo das possibilidades do aproveitamento pleno ou eficaz da energia solar, mas isto requer um conhecimento profundo e detalhado de quanta energia está realmente disponível e como ela se apresenta, ou seja, em que frequências e comprimentos de ondas podem ser utilizadas (N. F Ruiz, 2021). Em muitos países houve incentivo governamental a fim de diversificar a matriz energética, e em linhas gerais houve aumento massivo dos sistemas conectados à rede (PHILIPPI e REIS, 2016). No Brasil, é previsto que o consumo de energia elétrica triplique até 2050 (EPE, 2014).

A tecnologia de células fotovoltaicas é vista como uma tecnologia de um futuro nada distante, natural e inesgotável, visto que se utiliza a radiação emitida pelo Sol, e esta pode ser convertida diretamente em eletricidade utilizando-se das tecnologias de

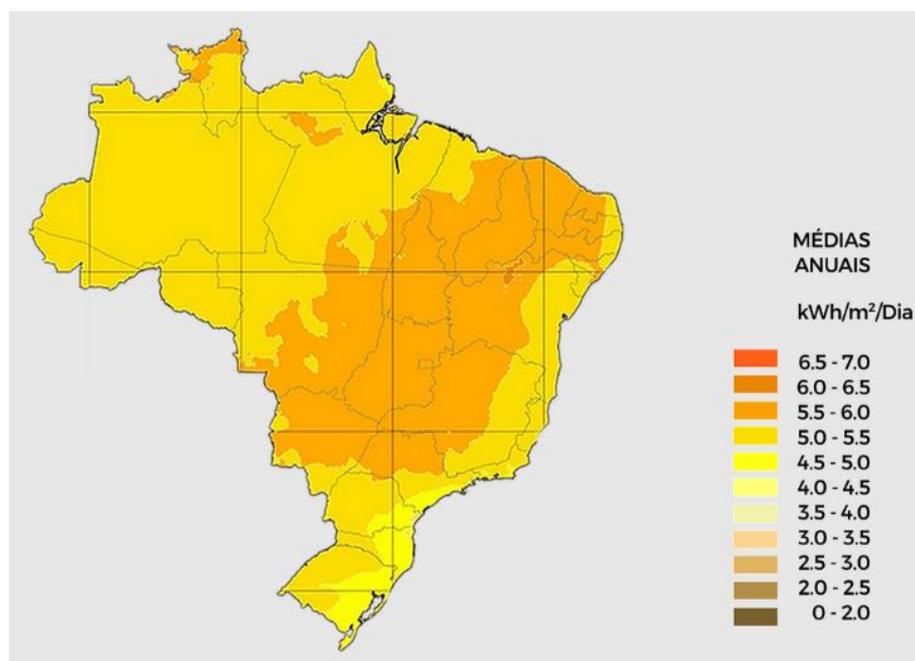
células fotovoltaicas. Esta transformação de energia possui como vantagem a possibilidade de poder ser operacionalizada em todas as regiões do planeta, operar de forma absolutamente silenciosa e possuir durabilidade de 25 anos (PHILIPPI e REIS, 2016).

Para o aproveitamento fotovoltaico, a irradiação de maior interesse é a irradiação global horizontal, que quantifica a radiação total recebida por uma superfície plana horizontal. Em dias nublados, a principal parcela é a irradiação difusa horizontal, entretanto, em dias claros, prevalece a irradiação direta.

O planeta, em seu movimento anual em torno do Sol, descreve em trajetória elíptica em um plano que é inclinado aproximadamente em  $23,5^\circ$  com relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano e dificultando os cálculos de sua posição para uma determinada data (PINHO e GALDINO, 2014).

De acordo com Villalva (2015, p. 52) “A duração dos dias e as diferentes massas de ar percorridas pelos raios solares, que dependem da localização geográfica, são os principais fatores que afetam a quantidade de energia solar recebida em cada região do planeta”. Dessa forma algumas regiões do Brasil (figura 1) são privilegiadas na geração de energia solar fotovoltaica, com destaque para a região nordeste.

Figura 1: Níveis de irradiação solar por região



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar.

### 2.1.1 Efeito Fotovoltaico

No ano de 1877, W.G. Adams e R.E. Day desenvolveram a primeira célula solar tendo como base dois elétrodos de selênio as quais produziam uma corrente elétrica ao serem expostas à radiação. Porém a eficiência destes sistemas era reduzida e o desenvolvimento de células solares com maior potencial só ocorreu após uma maior compreensão dos materiais semicondutores. No ano de 1954, D.M. Chapin e colaboradores, do Laboratório norte americano Bell, publicaram o primeiro artigo acerca de células solares em silício ao mesmo tempo em que registavam a patente de uma célula com uma eficiência de 4.5% (SILVA; BRITO, 2006).

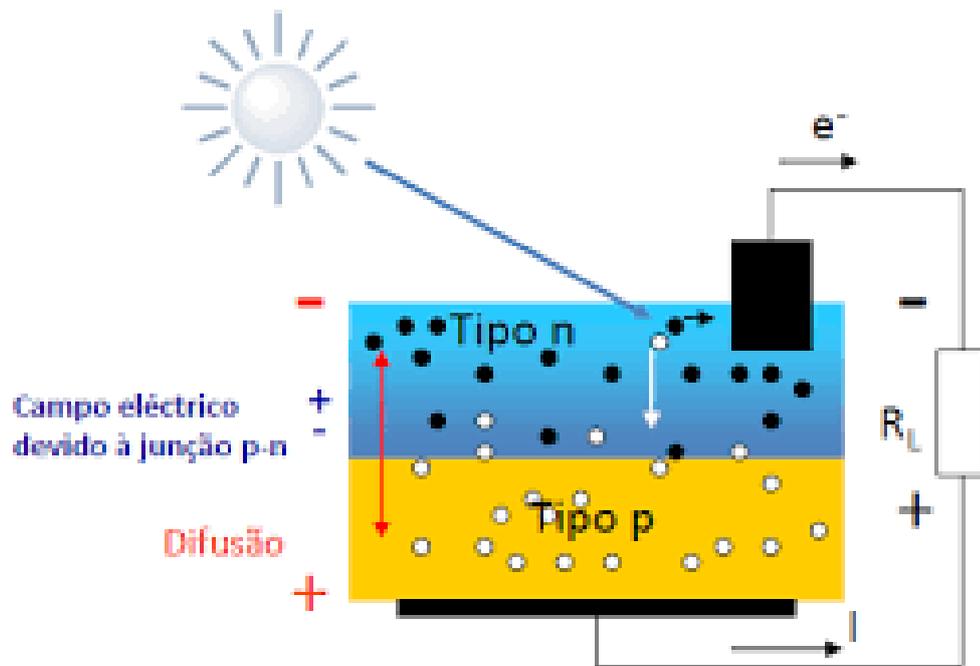
Levando em consideração o sistema elétrico brasileiro é possível destacar:

O Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) possui características singulares que norteiam as decisões da operação e do planejamento. Merecem destaque:

- dimensões continentais;
- predominância de geração hidrelétrica com grande participação de usinas com capacidade de regularização;
- diversidade hidrológica das bacias hidrográficas permitindo uma complementariedade entre as regiões;
- interligação plena entre as regiões a partir de um extenso sistema de linhas de transmissão de longa distância;
- participação de diversos agentes com usinas no mesmo rio, bem como linhas de transmissão operadas por agentes distintos;
- tempo de maturação e construção das grandes obras de geração e transmissão de energia. (TOLMASQUIM, 2016, p.21).

No Brasil, um percentual acima de quarenta por cento da energia elétrica consumida o é feito por edificações residenciais, comerciais e públicas, sendo o setor residencial responsável por 23% do total do consumo nacional e os setores comercial e público responsáveis por 11% e 8% respectivamente. “Em capitais como por exemplo o Rio de Janeiro, em edifícios comerciais e públicos, o ar condicionado é responsável por 50% do consumo de energia elétrica no verão, chegando a 70% para edifícios envidraçados” (Lomardo, 1988, Toledo, 1995, Lamberts et al. 1997(apud RÜTHER, 2004, p.11)).

Os primeiros registros sobre o efeito fotovoltaico (Figura 2) são do ano de 1839 por Edmond Becquerel e refere-se ao aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semiconductor, produzida pela absorção da luz, em que a célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (PINHO e GALDINO, 2014). Figura 2: Efeito Fotovoltaico



Fonte: VILLALVA, 2015).

O efeito fotovoltaico, é a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade, consiste na transformação da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica através da criação de uma diferença de potencial, ou uma tensão elétrica, sobre uma célula formada por um sanduíche de materiais semicondutores. Se a célula for conectada a dois eletrodos, haverá tensão elétrica sobre eles. Se houver um caminho elétrico entre os dois eletrodos, surgirá uma corrente elétrica (VILLALVA, 2015, p. 39).

O efeito fotovoltaico é o princípio fundamental por trás dos sistemas de energia solar fotovoltaica, desempenhando um papel crucial na geração de eletricidade a partir da luz solar. Esse fenômeno consiste na conversão direta da radiação solar em energia elétrica por meio da interação com materiais semicondutores. Quando a luz solar incide sobre uma célula fotovoltaica, ela transfere sua energia para os elétrons

nos átomos do material semicondutor, criando uma diferença de potencial elétrico, também conhecida como tensão elétrica.

Essa diferença de potencial resulta na separação de cargas elétricas dentro da célula fotovoltaica, com os elétrons sendo deslocados para uma região e os "buracos" deixados pelos elétrons deslocando-se para outra região. Ao conectar a célula a dois eletrodos, cria-se um circuito elétrico onde os elétrons podem fluir de volta para preencher os "buracos", gerando assim uma corrente elétrica (VILLALVA, 2015).

Essencialmente, o efeito fotovoltaico permite que a energia radiante do sol seja capturada e transformada diretamente em energia elétrica utilizável, sem a necessidade de partes móveis ou processos mecânicos. Isso torna os sistemas de energia solar fotovoltaica uma fonte de energia limpa, renovável e de baixa manutenção, com grande potencial para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos ambientais associados à geração de eletricidade.

### **2.1.2 O Recurso Solar**

O Sol banha anualmente a atmosfera terrestre com valores muito próximos a  $5,445 \times 10^{24}$  joules ou  $1,5125 \times 10^{18}$  kWh de energia. Este valor é extremamente considerável, sobretudo quando comparado, por exemplo, com o total de energia elétrica produzida no ano de 1970 por todos os sistemas desenvolvidos pelo homem naquela época, que foi igual a  $2 \times 10^{20}$  joules, ou seja, apenas 0,004% da energia recebida do Sol.

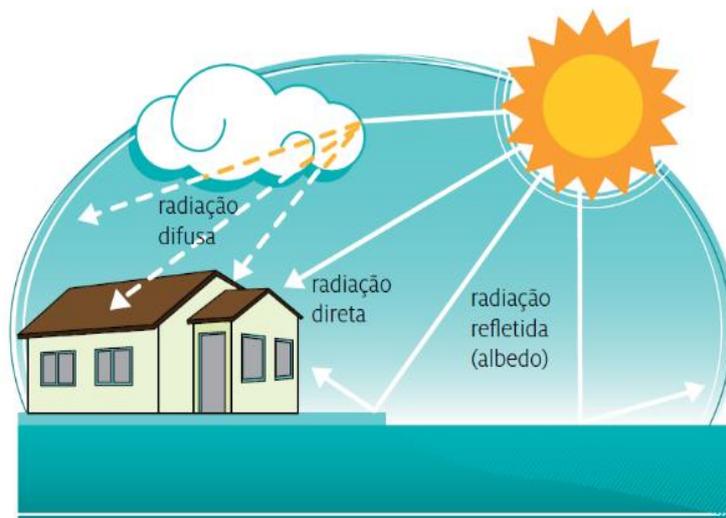
Ao longo do século, uma atenção crescente está sendo dada ao estudo das possibilidades de aproveitamento desta forma de energia advinda do Sol. Isto requer um conhecimento detalhado de quanta energia está realmente disponível e em que frequências e comprimentos de onda ela se apresenta. A transmissão desta energia fornecida pelo Sol para a Terra se dá através da radiação eletromagnética, sendo que 97% desta radiação está contida entre comprimentos de onda de 0,3 a 3,0  $\mu\text{m}$  que é o campo de radiação das ondas curtas.

A distinção entre radiação direta e difusa é fundamental para compreender como a energia solar é captada e utilizada. A radiação direta é aquela que chega diretamente do Sol, sem desvios significativos em sua trajetória, sendo influenciada apenas pela refração atmosférica. Por outro lado, a radiação difusa é aquela que

passou por mudanças de direção devido a reflexões ou espalhamentos na atmosfera, chegando ao solo de forma dispersa. A quantidade de radiação direta e difusa que um local recebe depende das condições atmosféricas e da posição solar.

Esta energia solar que incide no limite superior da atmosfera sofre uma série de reflexões, dispersões e absorções durante o seu percurso até atingir o solo terrestre devido as flutuações climáticas. A incidência total da radiação solar sobre um corpo localizado no solo é a soma das componentes direta, difusa e refletida (figura 3).

Figura 3: Radiação direta, refletida e difusa



Radiação direta é a radiação proveniente diretamente do disco solar e que não sofreu nenhuma mudança de direção além da provocada pela refração atmosférica. Radiação difusa é aquela recebida por um corpo após a direção dos raios solares ter sido modificada por reflexão ou espalhamento na atmosfera. A radiação refletida depende das características do solo e da inclinação do equipamento captador (Tiepolo, G.M., UTFPR 2017).

Além dessas duas formas de radiação solar, há também a radiação refletida, que é aquela que incide sobre uma superfície e é refletida de volta para a atmosfera. A quantidade de radiação refletida varia de acordo com as características do solo, como sua cor e textura, bem como com a inclinação do equipamento captador, como os painéis solares. Entender essas diferenças é essencial para o dimensionamento e a eficiência dos sistemas de captação de energia solar, permitindo uma melhor utilização dessa fonte de energia limpa e renovável.

A implementação do sistema fotovoltaico no Brasil enfrenta obstáculos devido à ausência de incentivos governamentais, uma vez que a matriz energética nacional já é considerada limpa e não há exigências rigorosas para a redução de emissões de gases poluentes. Além disso, as grandes concessionárias têm interesse na manutenção de sua receita a longo prazo, o que dificulta a popularização da energia solar. Outro fator limitante é a carência de conhecimento sobre os benefícios ambientais e econômicos desse sistema, bem como a escassez de mão de obra qualificada para sua instalação e manutenção (SIMONE, 2019 apud COUTINHO, 2019; COUTINHO, 2019).

A viabilidade financeira também se apresenta como uma barreira, uma vez que o retorno do investimento ocorre no médio prazo e os componentes do sistema possuem custo elevado, dificultando seu acesso. Embora o Brasil possua reservas de quartzo, matéria-prima para a produção de silício, a ausência de fábricas para sua purificação e a necessidade de importação de outros insumos encarecem a tecnologia. Além desses desafios econômicos, há também a preocupação com o descarte adequado dos módulos fotovoltaicos, questão ambiental ainda sem solução definitiva (ROSA; GASPARIN, 2016; COUTINHO, 2019; MME; EPE, 2020).

A conversão direta da energia solar em eletricidade ocorre devido aos efeitos da radiação sobre materiais semicondutores, sendo o silício um dos mais utilizados. Esse fenômeno foi observado pela primeira vez em 1839 pelo físico Edmond Becquerel, que identificou a geração de pequenas correntes elétricas em certos materiais expostos à luz. No entanto, o desenvolvimento das primeiras células fotovoltaicas comerciais ocorreu apenas entre 1954 e 1956, possibilitando a captação e conversão eficiente da energia solar em eletricidade (BORTOLOTO et al., 2017; GOETZE, 2017).

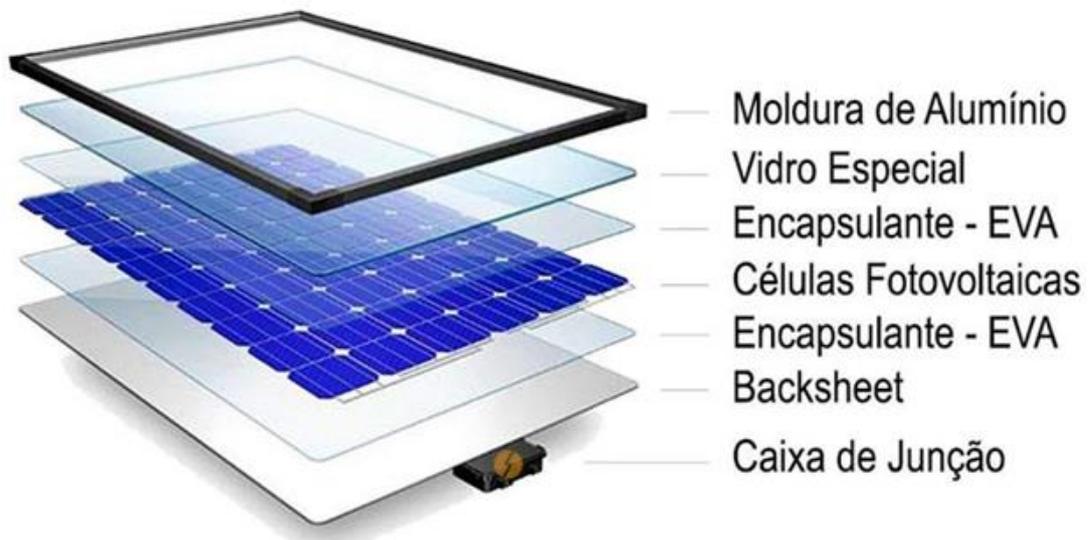
Figura 4 - Tipos de placas solares - da esquerda para direita, placa monocristalina, policristalina e filme fino.



Fonte: Portal Solar (s.d.). Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>.

O silício é amplamente empregado na produção das células fotovoltaicas devido à sua capacidade de converter radiação solar em energia elétrica. No mercado, encontram-se três principais tipos de células fotovoltaicas: monocristalinas, que apresentam maior eficiência energética; policristalinas, que possuem um custo menor, mas eficiência intermediária; e amorfas, que, apesar de menos eficientes, são mais baratas e resistentes. Pesquisas continuam avançando no desenvolvimento de novas tecnologias, com o objetivo de aumentar a eficiência das células fotovoltaicas e reduzir os custos de produção (GOETZE, 2017).

Figura 5 - Construção do Painel Solar



Fonte: Portal Solar (s.d.). Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acesso em: 11 mar. 2021.

As células fotovoltaicas, quando combinadas em série ou paralelo, formam os módulos fotovoltaicos, também chamados de placas solares. A junção de múltiplos módulos resulta em painéis fotovoltaicos, que compõem os sistemas utilizados para captação de energia solar. Embora a estrutura básica dos painéis tenha se mantido desde sua invenção, a eficiência energética e a capacidade de geração de eletricidade aumentaram significativamente com o avanço tecnológico (GOETZE, 2017; RIBEIRO et al., 2019).

Os módulos fotovoltaicos são compostos por diversos elementos estruturais, como alumínio para fixação, vidro especial para proteção, filmes condutores e isolantes, além do backsheet, que evita a degradação dos componentes internos. O sistema também conta com cabos, conectores e inversores, sendo estes últimos responsáveis pela conversão da corrente contínua (CC), gerada pelas células solares, em corrente alternada (CA), compatível com a rede elétrica convencional (TOLMASQUIM, 2016 apud COUTINHO, 2019).

A integração da energia solar ao ambiente urbano tem sido alvo de diversas inovações tecnológicas, especialmente com o desenvolvimento do conceito de Building-Integrated Photovoltaics (BIPV). Segundo Rüter (2004), a incorporação de células fotovoltaicas diretamente em materiais construtivos, como telhas e vidros, permite que edifícios se tornem geradores de energia, reduzindo a dependência da rede elétrica convencional. Essa abordagem não apenas aumenta a eficiência energética, mas também contribui para uma estética arquitetônica moderna e sustentável, alinhada às demandas urbanas contemporâneas.

No entanto, a aplicação dessas tecnologias ainda enfrenta desafios significativos, principalmente no Brasil. Como destacam MME e EPE (2020), apesar do potencial transformador do BIPV, sua implementação em larga escala ainda é limitada por questões econômicas, técnicas e regulatórias. A falta de incentivos específicos e a ausência de normas claras para a integração de sistemas fotovoltaicos em edificações urbanas são barreiras que precisam ser superadas para viabilizar essa transição. Além disso, os altos custos iniciais de instalação podem desestimular investidores e consumidores finais.

Outro ponto relevante é a diversificação das fontes geradoras na matriz elétrica brasileira, tema abordado por Pereira e Silva Neto (2020). A integração de tecnologias como o BIPV pode desempenhar um papel crucial nesse processo, promovendo maior descentralização da geração de energia. Conforme argumentado por esses autores,

a expansão da geração distribuída, especialmente em áreas urbanas, é uma estratégia fundamental para reduzir as perdas de energia na distribuição, conforme discutido pela ANEEL (2019).

Além disso, Tolmasquim (2016) reforça a importância das energias renováveis, incluindo a solar, como alternativas sustentáveis para o crescimento urbano. O autor destaca que tecnologias como o BIPV podem contribuir para a mitigação dos impactos ambientais associados à expansão das cidades, especialmente em termos de emissões de carbono e consumo de recursos naturais. Isso está alinhado com os objetivos globais de desenvolvimento sustentável, que priorizam soluções integradas e de baixo impacto ambiental.

Por outro lado, Villalva (2015) enfatiza a necessidade de avanços tecnológicos para tornar o BIPV mais acessível e eficiente. Ele argumenta que, embora o conceito seja promissor, ainda há limitações relacionadas à eficiência de conversão de energia e à durabilidade dos materiais utilizados. Esses fatores impactam diretamente a viabilidade econômica da tecnologia, especialmente em mercados emergentes como o brasileiro, onde a competitividade de preços é essencial.

Nesse contexto, Mariano et al. (2023) analisam o mercado de sistemas fotovoltaicos no Brasil, destacando o crescente interesse por soluções voltadas para áreas urbanas. Os autores apontam que, apesar dos desafios, há um aumento significativo na demanda por tecnologias que integram energia solar à infraestrutura urbana, impulsionado por políticas públicas e pela conscientização ambiental. Esse cenário sugere que o BIPV pode se tornar uma tendência nos próximos anos.

Schneider e Schindele (2018) apresentam exemplos internacionais de sucesso na implementação de tecnologias semelhantes ao BIPV, como o conceito de agrofotovoltaica. Embora essas iniciativas estejam mais focadas no setor agrícola, elas demonstram o potencial de integração de painéis solares em diferentes contextos, desde áreas rurais até ambientes urbanos. Esses casos podem servir como referência para o desenvolvimento de soluções adaptadas à realidade brasileira.

Adicionalmente, Rossi (2023) discute os sistemas de armazenamento de energia como um complemento essencial para tecnologias como o BIPV. Ele argumenta que a combinação de geração fotovoltaica com baterias de alta capacidade pode resolver problemas relacionados à intermitência da energia solar, garantindo um suprimento contínuo mesmo em períodos de baixa insolação. Essa integração é crucial para maximizar os benefícios da geração distribuída em áreas urbanas.

Por fim, Costa (2023) explora o papel da Internet das Coisas (IoT) na otimização do uso de energia solar em edifícios urbanos. A autora propõe que a automação residencial e comercial pode ser combinada com sistemas fotovoltaicos integrados para maximizar a eficiência energética. Essa abordagem não apenas reduz custos, mas também melhora a experiência do usuário, tornando a adoção dessas tecnologias mais atrativa.

Em suma, as novas tecnologias voltadas para a integração da energia solar ao ambiente urbano, como o BIPV, representam uma oportunidade única para transformar a forma como as cidades consomem e geram energia. Embora ainda haja desafios a serem superados, conforme destacado por diversos autores, os avanços tecnológicos e as tendências globais indicam que essa é uma área com grande potencial para crescimento e impacto positivo no futuro próximo.

O armazenamento de energia solar é uma das áreas mais estratégicas para o avanço da integração dessa fonte renovável na matriz energética global. Como destacam Rossi (2023) e Villalva (2015), o desenvolvimento de tecnologias de armazenamento eficientes é essencial para resolver os desafios associados à intermitência da geração solar, garantindo um suprimento contínuo de energia mesmo durante períodos de baixa insolação ou alta demanda.

Uma das soluções mais amplamente discutidas é o uso de baterias para armazenar o excedente de energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos. Segundo Rossi (2023), as baterias de íons de lítio têm se consolidado como a tecnologia dominante no mercado, devido à sua alta densidade energética e vida útil relativamente longa. No entanto, o autor também aponta que o custo elevado dessas baterias ainda é um obstáculo significativo para sua adoção em larga escala, especialmente em países emergentes como o Brasil.

Além disso, Mariano et al. (2023) reforçam que o armazenamento de energia solar pode ser particularmente vantajoso em áreas rurais, onde a rede elétrica convencional é frequentemente limitada ou inexistente. Nesse contexto, sistemas híbridos que combinam painéis solares com baterias podem proporcionar maior autonomia energética, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico dessas regiões. Esse ponto é corroborado por Pereira et al. (2017), que destacam o potencial da energia solar para elevar a qualidade de vida em comunidades isoladas.

Outro aspecto relevante é a integração de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), para otimizar o uso do armazenamento de energia.

Conforme explica Costa (2023), sistemas IoT podem monitorar e gerenciar o consumo de energia em tempo real, maximizando a eficiência dos sistemas de armazenamento e reduzindo desperdícios. Essa abordagem não apenas melhora a viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos, mas também oferece uma experiência mais personalizada para os usuários.

Por outro lado, Rüter (2004) argumenta que o armazenamento de energia deve ser visto como parte de uma estratégia mais ampla de integração urbana. Ele sugere que edifícios equipados com sistemas fotovoltaicos integrados (BIPV) poderiam incorporar baterias diretamente em sua infraestrutura, tornando-os verdadeiramente autossuficientes. Embora essa visão seja promissora, ela ainda enfrenta barreiras técnicas e econômicas, conforme observado por MME e EPE (2020).

Ainda sobre o desenvolvimento tecnológico, Silva (2023) destaca que o avanço na pesquisa de novos materiais para baterias, como as baterias de fluxo e as de estado sólido, pode revolucionar o setor nos próximos anos. Essas tecnologias prometem maior segurança, menor degradação ao longo do tempo e menor impacto ambiental em comparação com as baterias tradicionais.

Em uma perspectiva mais ampla, Tolmasquim (2016) enfatiza que o armazenamento de energia solar é uma peça-chave para a transição para uma matriz energética mais sustentável. Ele argumenta que, ao combinar geração distribuída com armazenamento localizado, é possível reduzir as perdas de energia na transmissão e distribuição, conforme apontado anteriormente por ANEEL (2019).

Por fim, Xue (2017) apresenta exemplos internacionais, como a China, onde o conceito de "agrofotovoltaica" tem sido combinado com sistemas de armazenamento para maximizar o uso da terra e da energia. Essa abordagem demonstra o potencial de sinergia entre diferentes tecnologias para criar soluções integradas e eficientes.

Em suma, o desenvolvimento de tecnologias de armazenamento para energia solar está avançando rapidamente, impulsionado por pesquisas inovadoras e pela crescente demanda por soluções sustentáveis. Autores como Rossi (2023), Villalva (2015) e Mariano et al. (2023) destacam que, embora desafios permaneçam, especialmente em termos de custos e eficiência, o progresso nessa área é crucial para consolidar a energia solar como uma fonte confiável e acessível no futuro.

## 2.2 REDES ONGRID E OFFGRID

A energia solar pode ser implementada em duas configurações principais: sistemas on-grid (conectados à rede elétrica) e sistemas off-grid (independentes da rede elétrica). Essas modalidades diferem em termos de concepção, aplicação, vantagens e desvantagens, sendo escolhidas com base nas necessidades específicas do usuário e nas condições locais. Segundo RÜTHER (2004), os sistemas on-grid são amplamente utilizados em áreas urbanas, enquanto os sistemas off-grid são mais comuns em regiões remotas ou isoladas, onde a infraestrutura elétrica convencional é inexistente ou precária.

Os sistemas on-grid são caracterizados pela conexão direta dos painéis solares à rede elétrica pública. Nesse modelo, a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos pode ser consumida imediatamente ou injetada na rede, gerando créditos energéticos que podem ser utilizados posteriormente. Como destacam MME e EPE (2020), essa abordagem permite maior flexibilidade para os usuários, pois eles não precisam depender exclusivamente da geração solar para suprir todas as suas necessidades energéticas. Além disso, o sistema on-grid é ideal para áreas urbanas, onde o acesso à rede elétrica é garantido e as tarifas de energia tendem a ser altas, tornando a economia gerada por meio dos créditos uma vantagem significativa.

Por outro lado, os sistemas off-grid operam de forma independente, sem qualquer conexão à rede elétrica. Esses sistemas geralmente incluem baterias para armazenar a energia excedente gerada durante o dia, permitindo seu uso durante a noite ou em períodos de baixa insolação. Conforme explicado por VILLALVA (2015), os sistemas off-grid são particularmente úteis em áreas rurais ou isoladas, onde a extensão da rede elétrica convencional seria economicamente inviável. No entanto, essa independência traz desafios, como a necessidade de investir em baterias de alta capacidade, que aumentam significativamente o custo inicial do sistema.

Uma das principais diferenças entre os dois sistemas está na gestão da energia. Nos sistemas on-grid, a rede elétrica atua como um "reservatório virtual", eliminando a necessidade de grandes investimentos em armazenamento. Já nos sistemas off-grid, o armazenamento é essencial para garantir a continuidade do fornecimento de energia. ROSSI (2023) destaca que o desenvolvimento de tecnologias de baterias mais eficientes e acessíveis pode reduzir essa diferença,

tornando os sistemas off-grid mais viáveis economicamente. Atualmente, no entanto, o custo das baterias ainda é um obstáculo significativo para a adoção em larga escala.

Em termos de aplicações, os sistemas on-grid são amplamente utilizados em residências, empresas e edifícios comerciais urbanos, onde a prioridade é reduzir custos com energia elétrica e aproveitar incentivos governamentais, como os créditos energéticos mencionados por ANEEL (2019). Já os sistemas off-grid são frequentemente empregados em fazendas, comunidades rurais e projetos de eletrificação em áreas remotas. MIKI (2019) apresenta exemplos de sucesso na utilização de sistemas off-grid em comunidades isoladas da Amazônia, onde a energia solar tem sido fundamental para melhorar a qualidade de vida e promover o desenvolvimento socioeconômico.

As vantagens dos sistemas on-grid incluem maior simplicidade técnica, menor custo inicial e a possibilidade de se beneficiar dos créditos energéticos. No entanto, sua principal desvantagem é a dependência da rede elétrica, o que significa que interrupções no fornecimento de energia podem comprometer o funcionamento do sistema. Por outro lado, os sistemas off-grid oferecem total autonomia energética, mas exigem investimentos mais altos e uma manutenção mais rigorosa, conforme observado por PEREIRA (2019).

Outro fator relevante é a sustentabilidade desses sistemas. Ambos contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas os sistemas off-grid têm um impacto ambiental potencialmente maior devido ao uso de baterias, que podem ser difíceis de reciclar. TOLMASQUIM (2016) enfatiza que a escolha entre os dois modelos deve considerar não apenas os aspectos econômicos, mas também os impactos ambientais e sociais associados à sua implementação.

Por fim, vale destacar que a evolução tecnológica está gradualmente reduzindo as diferenças entre os sistemas on-grid e off-grid. SILVA (2023) argumenta que avanços em inteligência artificial e automação, como os sistemas IoT discutidos por COSTA (2023), podem otimizar o uso da energia tanto em sistemas conectados quanto em sistemas independentes. Essa convergência tecnológica promete expandir as aplicações da energia solar, tornando-a mais acessível e eficiente para uma ampla variedade de contextos.

### 3 ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA FINS RESIDENCIAIS

Nos últimos anos, a adoção de soluções de energia solar em projetos residenciais tem crescido significativamente, impulsionada pelo aumento da conscientização ambiental, pelos avanços tecnológicos e pelos incentivos governamentais. Uma das principais soluções em uso são os sistemas fotovoltaicos, que convertem a luz solar em eletricidade por meio de painéis solares instalados nos telhados das residências. Esses sistemas têm a capacidade de fornecer uma fonte limpa e renovável de energia, reduzindo significativamente a dependência de combustíveis fósseis e os custos de eletricidade a longo prazo (SILVA; ALMEIDA, 2023).

Além dos sistemas fotovoltaicos, outra solução em ascensão é o uso de aquecedores solares de água. Estes sistemas utilizam coletores solares para captar a energia térmica do sol e aquecer a água para uso doméstico. Essa tecnologia é particularmente eficaz em regiões com alta incidência solar e pode reduzir significativamente os custos de aquecimento de água, contribuindo para a eficiência energética das residências (SILVA; ALMEIDA, 2023).

Outra solução inovadora é o uso de sistemas de iluminação solar em projetos residenciais. Estes sistemas consistem em luminárias equipadas com painéis solares integrados, que captam a energia solar durante o dia e a armazenam em baterias para uso durante a noite. Essa abordagem oferece uma alternativa sustentável e econômica para a iluminação externa e de áreas comuns em residências, reduzindo a dependência da rede elétrica convencional (SANTOS, 2023).

Além disso, a implementação de sistemas de aquecimento solar passivo tem sido cada vez mais comum em projetos residenciais sustentáveis. Esses sistemas utilizam princípios de design e materiais específicos para captar, armazenar e distribuir calor solar dentro das residências, reduzindo a necessidade de aquecimento convencional e melhorando a eficiência energética dos edifícios. Outra solução importante em uso são os sistemas de energia solar integrados à rede elétrica (on-grid). Esses sistemas permitem que os proprietários de residências gerem sua própria eletricidade a partir do sol e vendam o excesso de energia de volta à rede elétrica, recebendo créditos ou compensações financeiras. Essa abordagem não apenas reduz os custos de eletricidade, mas também contribui para a estabilidade e a resiliência da rede elétrica como um todo (ARAÚJO, 2021).

A conscientização e a educação sobre as vantagens e benefícios da energia solar têm desempenhado um papel fundamental na adoção dessas soluções em projetos residenciais. Programas de incentivo, campanhas de conscientização e políticas governamentais favoráveis têm incentivado os proprietários de residências a investirem em tecnologias solares, promovendo assim a transição para uma energia mais limpa e sustentável em nível residencial (SILVA, 2023).

### 3.1 IOT E ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PROJETOS RESIDENCIAIS

Nos últimos anos, a Internet das Coisas (IoT) tem revolucionado diversos setores, incluindo a automação residencial, através da integração de dispositivos inteligentes. Entre os principais dispositivos que se beneficiam da IoT estão os termostatos inteligentes, que monitoram e controlam a temperatura ambiente em residências. Esses dispositivos são capazes de se conectar à internet e ajustar automaticamente a temperatura com base em preferências e padrões de uso, proporcionando maior conforto e eficiência energética. Além disso, os termostatos inteligentes permitem o controle remoto por meio de aplicativos móveis, possibilitando aos usuários ajustarem as configurações de temperatura mesmo quando estão fora de casa (MARIANO et al., 2023).

Outro dispositivo que se destaca é o sistema de segurança residencial inteligente, que integra câmeras de vigilância, sensores de movimento e alarmes conectados à internet. Esses dispositivos permitem monitorar a segurança da residência em tempo real, receber notificações sobre atividades suspeitas e até mesmo acionar autoridades em caso de emergência. A conectividade oferecida pela IoT aumenta a eficácia desses sistemas, tornando-os mais responsivos e proporcionando maior tranquilidade aos moradores (MELO et al., 2020).

Os medidores inteligentes de energia são outra aplicação importante da IoT em residências. Esses dispositivos monitoram o consumo de energia em tempo real e enviam dados para os usuários por meio de aplicativos ou interfaces web. Com essa informação detalhada sobre o consumo de energia, os usuários podem identificar padrões de uso, identificar áreas de desperdício de energia e tomar medidas para reduzir os custos de eletricidade. Além disso, os medidores inteligentes facilitam a integração de sistemas de energia solar, permitindo monitorar a produção e o consumo de energia de forma mais eficiente (COSTA, 2023).

Os sistemas de iluminação inteligente também estão ganhando popularidade, oferecendo controle remoto e automação da iluminação em residências. Esses sistemas permitem ajustar a intensidade e a cor da luz, criar cenários personalizados e programar horários de funcionamento, tudo por meio de aplicativos móveis ou assistentes de voz. Além de proporcionar maior conforto e conveniência, os sistemas de iluminação inteligente podem ajudar a reduzir o consumo de energia, ajustando automaticamente a iluminação de acordo com a presença de pessoas e a luminosidade ambiente (SILVA NETO, 2022).

Outro dispositivo que se beneficia da IoT é o sistema de irrigação inteligente para jardins e áreas verdes residenciais. Esses sistemas utilizam sensores de umidade do solo, previsões meteorológicas e algoritmos inteligentes para otimizar a quantidade de água fornecida às plantas, evitando desperdícios e garantindo uma irrigação eficiente. Além disso, os sistemas de irrigação inteligente podem ser controlados remotamente por meio de aplicativos móveis, permitindo ajustar as configurações de irrigação conforme necessário, mesmo quando os moradores estão longe de casa (AGUIAR, 2021).

Os assistentes de voz residenciais, como Amazon Alexa e Google Assistant, são dispositivos habilitados para IoT que estão se tornando cada vez mais populares. Esses assistentes permitem controlar uma variedade de dispositivos inteligentes em casa por meio de comandos de voz, como ajustar a temperatura do termostato, ligar as luzes ou reproduzir música. A integração desses assistentes com outros dispositivos IoT oferece maior comodidade e praticidade aos usuários, permitindo controlar sua casa de forma intuitiva e sem a necessidade de dispositivos físicos adicionais (SARMENTO et al., 2021).

A energia fotovoltaica desempenha um papel crucial na busca pela sustentabilidade energética, especialmente quando combinada com dispositivos programáveis que aumentam sua eficiência e integração com outros sistemas. Um desses dispositivos é o sistema de monitoramento e controle remoto, que permite aos usuários acompanhar em tempo real a produção de energia dos painéis solares e ajustar remotamente suas configurações. Isso não só facilita a detecção precoce de problemas ou falhas nos sistemas fotovoltaicos, como também possibilita otimizar seu desempenho para maximizar a geração de eletricidade (SILVA, 2023).

Outro dispositivo importante é o inversor solar inteligente, que converte a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (CA)

utilizável para alimentar os dispositivos elétricos da residência. Os inversores inteligentes possuem recursos avançados de comunicação e controle, permitindo ajustes automáticos de tensão e frequência, bem como o monitoramento da eficiência do sistema. Isso contribui para a estabilidade e confiabilidade do fornecimento de energia solar, tornando-a uma opção mais viável para a sustentabilidade (FREITAS BRITO; LIMA; BATISTA, 2023).

Os sistemas de armazenamento de energia, como as baterias solares, desempenham um papel fundamental na estabilização da energia fotovoltaica e na sua integração com a rede elétrica convencional. Esses dispositivos permitem armazenar o excesso de energia gerada durante o dia para uso posterior, reduzindo a dependência da rede elétrica e proporcionando uma fonte de energia reserva em caso de falhas no fornecimento. Com a crescente popularidade dos veículos elétricos, as baterias solares também podem ser utilizadas para carregar esses veículos, promovendo ainda mais a sustentabilidade (ROSS, 2023).

Outro dispositivo programável relevante são os sistemas de automação residencial, que podem ser integrados aos sistemas fotovoltaicos para otimizar o consumo de energia e reduzir os custos. Esses sistemas podem controlar automaticamente dispositivos eletrodomésticos, como aquecedores de água, condicionadores de ar e iluminação, com base na disponibilidade de energia solar e nos padrões de uso da residência. Isso permite maximizar o uso da energia solar e minimizar o consumo de energia da rede, tornando o sistema mais eficiente e sustentável (FREITAS BRITO; LIMA; BATISTA, 2023).

Além disso, os medidores inteligentes de energia também desempenham um papel importante na integração da energia fotovoltaica na sustentabilidade. Esses dispositivos permitem monitorar o fluxo de energia entre o sistema fotovoltaico, a rede elétrica e os dispositivos de consumo, fornecendo dados detalhados sobre o consumo de energia e os padrões de uso. Isso ajuda os usuários a tomar decisões informadas sobre o uso da energia e a identificar oportunidades de economia, contribuindo para a eficiência energética e a redução das emissões de carbono (SARMENTO et al., 2021).

## 4 UTILIZAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA AGROPECUÁRIA E INDÚSTRIA

### 4.1 AGROPECUÁRIA

Em termos de território o Brasil tem o privilégio de ocupar as primeiras colocações enquanto tamanho geográfico, o que de um modo permite diversas formas de exploração inclusive no que tange suas fontes energéticas. Nesse sentido, segundo dados do Ministério das Minas e Energia, país ocupa a terceira posição dentre os maiores produtores de energia hidrelétrica, ficando atrás apenas da China e do Canadá (BRASIL, 2016).

A abundância de bacias hidrográficas no território brasileiro facilita por exemplo a construção e uso das usinas hidrelétricas como fonte de energia sustentável. Porém essa matriz energética está condicionada a diversos fatores climáticos que tem sido alterados ou tem variado de forma negativa nos últimos tempos como secas por exemplo, reduzindo a capacidade desta exploração e inutilizando áreas agricultáveis ou reservas ambientais. (BRASIL, 2016).

Dentro do bojo das energias renováveis, a energia solar apresenta grande potencial para o território brasileiro uma vez que estimativas apontam que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (ANEEL, 2016) se caracterizando como uma fonte inesgotável de energia.

A respeito do uso da energia solar, Tolmasquim (2016) afirma que

[...] essa ideia não é recente: Historicamente, o aproveitamento energético do Sol não é novidade. No início do processo de civilização, a apropriação da energia pela humanidade se deu através da agricultura e da pecuária, as quais por meio do aproveitamento controlado da fotossíntese e da cadeia alimentar processam a energia direta do Sol. Além do citado, há diversas outras maneiras de aproveitamento da energia solar, sendo a iluminação e o calor, talvez, as mais evidentes para a população (TOLMASQUIM, 2016, p. 321).

O sistema fotovoltaico se constitui em um conjunto de módulos interligados com determinada quantia de células solares que fazem uso do efeito fotovoltaico para converter a energia solar em elétrica. Tal sistema pode ser utilizado tanto em um edifício, uma casa e até mesmo uma indústria tendo tamanho proporcional as necessidades de consumo (RUTHER, 2004).

Indo além, à questão tarifária torna-se vantajosa frente à energia convencional, cuja tendência é de alta tanto por conta da redução dos recursos hídricos quanto pelo custo de transmissão. Vale ressaltar que na carência de recursos hidroelétricos suficientes são utilizadas as fontes termoelétricas, que se utiliza de combustíveis em alta no mercado e gera resíduos ao meio ambiente, elevando a necessidade de se buscar um debate objetivo de incentivos econômicos à inserção da tecnologia solar fotovoltaica conectada à rede (FERREIRA, TEIXEIRA, 2015).

A preservação do meio ambiente é algo que deve acontecer em todos os âmbitos, sobretudo quando se fala em produção e consumo de energia elétrica, porque a escassez de água e todo o prejuízo causado ao meio ambiente faz com que se busque alternativas para a produção dessa energia e a fotovoltaica se apresenta como principal delas ante não somente a preservação ambiental, mas, também o custo/benefício apresentado ao consumidores (FERREIRA, TEIXEIRA, 2015. P.10).

A relevância da energia concebida a partir de sistemas fotovoltaicos abrange desde a questão ambiental, até os aspectos financeiros pois além de seu valor ecológico, a energia solar fotovoltaica é renovável e ao se comparar com outros tipos de geração de eletricidade, utilização não causa danos à ao meio ambiente e requer pouca manutenção. Ao passo que seus resíduos podem ser reciclados podendo voltar para o mercado (CHIARELLO; SANTOS, 2018).

A utilização de energia solar pode de várias maneiras com o desenvolvimento do agronegócio e da rentabilidade produtiva de pequenos produtores familiares, uma vez que o consumo de energia de fontes convencionais é consideravelmente mais elevado. Nos dias atuais levando em conta dados da ANP (2022), quando se avalia o aumento dos combustíveis como o óleo diesel por exemplo, verificamos que este custo repercutiu em um aumento de mais de 100% em relação aos últimos três anos. E esse combustível não tem impacto somente no transporte das mercadorias e da produção agrícola, mas em diversos serviços que em geral substituem as fontes hidrométricas como geradores, bombas etc.

Segundo Guaragnio (2017), existe elevado interesse comercial na exploração dos combustíveis fósseis e convencionais, o que coloca as fontes de geração alternativas às margens das opções e encarecendo tais empregos tecnológicos.

A atividade voltada a geração e exploração da energia elétrica abre possibilidades para a geração local por meio de fontes não convencionais, o que, por meio da exploração de sistemas fotovoltaicos, permitiria uma redução de custos produtivos na agronomia e seu conseqüente reflexo no restante da cadeia comercial, além de importar em sustentabilidade.

Pensando em instalações de captação de representação coletiva e pública, a utilização de edificações para a captação permite realizar uma maior captação pelo potencial existente e do ponto de vista de instalações elétricas e da construção civil, as “tecnologias necessárias à incorporação de painéis solares fotovoltaicos a projetos de construção convencional já são bem estabelecidas a utilização de painéis de vidro em fachadas e coberturas é uma prática comum no setor da construção.” (RÜTHER, 2004, p.11).

O sistema de Geração Fotovoltaico é de simples instalação, não exige grandes adaptações nas residências para possibilitar sua instalação. Desde o início dos anos de 1990, o Japão tem feito a integração da energia gerada por telhados fotovoltaicos, além de iniciar a implementação de uma política de subsídio governamental. O subsídio inicial (até 2006) era de 70% do custo do sistema fotovoltaico, o que não só fez do Japão o maior país produtor solar do mundo por um grande período (sendo superado em 2007 pela Europa), como também o transformou no país com maior mercado fotovoltaico do mundo (sendo superado pela Alemanha em 2006). Recentemente, o Japão retomou a política de subsídio, sendo um bom exemplo de como políticas governamentais podem promover o desenvolvimento da geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos (RELLA, 2017, p.29-30).

No caso da Alemanha, esta promulgou e implementou a "*renewable energy net pricing law*" (Preço líquido para a energia Renovável). Como resultado dessa política, houve um rápido desenvolvimento da indústria fotovoltaica no país. De 2000 a 2007, o investimento para a construção de instalações fotovoltaicas foi superior a 15 bilhões de euros, o que fez com que a Alemanha superasse o Japão em crescimento de mercado. Além disso, observou-se um rápido declínio no custo da geração de energia fotovoltaica no país (cerca de 20% em três anos (RELLA, 2017, p.29-30).

A agricultura, assim como outras atividades humanas, faz parte de um importante segmento e atividade consumidora de energia, com o objetivo de produzir mais energia e colocá-la à disposição da humanidade. Assim, estamos falando de uma espécie de balança energética em que de um lado temos um consumo e do outro uma produção. Face à desarmonia dessa relação que os humanos possuem com os recursos naturais, muitas vezes, são utilizados de forma descabida ameaçando a disponibilidade destes recursos e o equilíbrio natural dos ambientes. (FARIAS e SELLITO, 2011).

O uso da energia solar na agricultura além da fonte natural de luz e calor, essencial para a vida na Terra, ainda se apresenta de forma tímida. Entretanto, diversas iniciativas apresentam essa matriz como transformadora para o meio rural com experiências que utilizam o sol tanto como fonte térmica como gerador de eletricidade. O Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM) desenvolve diversos projetos que utilizam a energia solar como ferramenta de desenvolvimento rural, principalmente em comunidades isoladas da região amazônica (GUARAGNIO, 2017).

O gelo solar é um projeto implantado pelo IDSM que mudou a vida dos ribeirinhos da comunidade da Vila Nova do Amanã, no município de Maraã, no Amazonas. Para tal comunidade, o gelo é um instrumento de trabalho utilizado para a conservação do pescado durante seu envio até o local de comercialização. Antes da implantação da fábrica de gelo solar, que utiliza o sol como fonte de energia para máquinas de fabricação de gelo, o insumo era buscado em cidades distantes várias horas de barco. Além do desembolso financeiro, já que o gelo era comprado, ocorria a perda de poder de refrigeração devido ao longo período de transporte. (IDSM, 2017 apud GUARAGNIO, 2017).

Projeto de inovação voltado para abastecimento de água promovido pelo Instituto Mamirauá, fazem uso da energia solar captada por meio de painéis fotovoltaicos que produzem energia para o bombeamento de água. Os painéis solares são instalados sobre o rio em balsas flutuantes. A água bombeada vai para um reservatório elevado antes de ser distribuição para os consumidores locais por meio da gravidade. Equipada com um filtro de areia, a caixa d'água tem a remoção de resíduos. Parcela da água, que é destinada para o consumo humano direto passa por um de fluxo mais lento sendo disposta em um reservatório de uso coletivo. (IDSM, 2017 apud GUARAGNIO, 2017).

Martins et al (2002) por sua vez, desenvolvem uma alternativa para secagem de grãos alimentado pelo calor solar coletado. O sistema é de fácil manutenção e baixo custo de implantação, ele promove competitividade aos produtores e a qualidade de sua produção de grãos por promover o beneficiamento. Ele se enquadra de forma ideal para atendimento de propriedades familiares que possuem pouca estrutura de beneficiamento e transporte de sua produção.

Para Shayani, Oliveira e Camargo (2006) o modelo brasileiro de uso de energia elétrica baseia-se na centralização da produção e sua transmissão por extensas redes

que vai até os grandes centros. Nesse modelo, as chances de se alcançar o êxodo rural é maior pois as condições energéticas do meio rural desestimulam qualquer atividade que atraia o desempenho econômico dessas localidades rurais.

Schwade e Zdanowicz (2013) estudaram a região do município de Selbach/RS e seus agricultores, os quais organizaram por meio de uma cooperativa voltada para o suprimento da demanda de energia elétrica. Tais análises revelam a relevância da energia solar para os agricultores locais. A nova forma de organização e de abastecimento energético, para os agricultores foi relatada como uma experiência que resultou em uma considerável melhora na qualidade de vida e na produtividade de diversas atividades rurais. Cabe destacar que nessa pesquisa, 93,5% dos entrevistados apontam como grande beneficiária da energia elétrica para sua atividade a pecuária leiteira.

A agricultura fotovoltaica é uma tecnologia promissora e inovadora que iniciou uma revolução industrial inovadora. É a combinação de geração de energia fotovoltaica e atividades agrícolas simultâneas na mesma terra. As abordagens existentes para a agricultura fotovoltaica instalam painéis solares acima do campo agrícola. Os painéis solares ainda bloqueiam a maior parte da luz solar e impedem o crescimento eficiente das plantas (LIU et al., 2018).

Combinando a concentração fotovoltaica (CPV) e a tecnologia de interferência difrativa, um novo sistema para a agricultura fotovoltaica foi demonstrado com sucesso. Este sistema permite o uso agrícola e a geração de eletricidade no mesmo terreno de uma forma muito econômica. Discute-se a invenção de painéis de vidro semitransparentes, que transmitem apenas a luz necessária para o crescimento das plantas. Uma análise matemática minuciosa é realizada para elaborar o embasamento teórico do sistema fotovoltaico agrícola apresentado (LIU et al., 2018).

Com a tendência de crescimento rápido da população mundial, estimada em mais de 9 bilhões em 2050, a pressão sobre o setor agrícola aumentou substancialmente. Ao mesmo tempo, as questões das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o esgotamento dos combustíveis fósseis estão acabando com as práticas agrícolas convencionais. Com a infiltração de tecnologias renováveis, o setor agrícola visa alimentar a população crescente de forma mais sustentável. Considerando todas as fontes de energia renováveis, a energia solar está entre as mais adaptáveis com aplicações agrícolas. Ao longo dos anos, a tecnologia fotovoltaica (PV) foi empregada para fornecer a energia necessária para várias

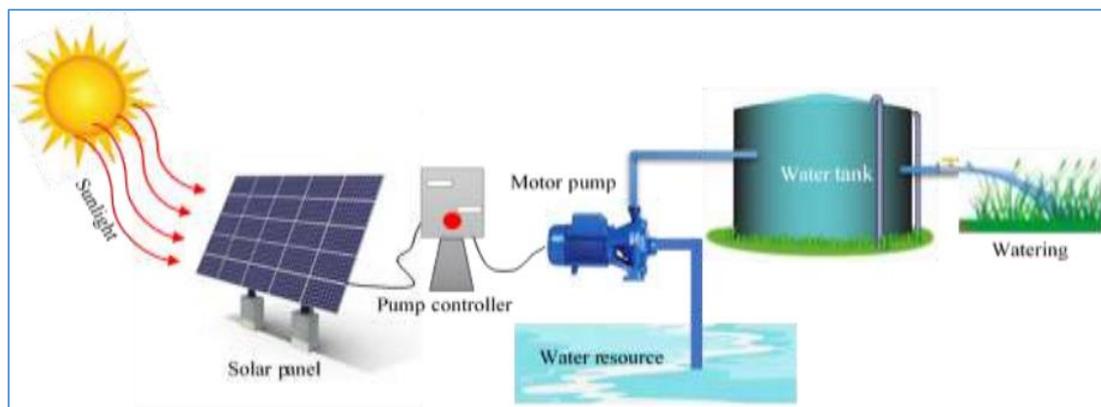
aplicações agrícolas, incluindo bombeamento de água e irrigação, dessalinização de água salgada, secagem de culturas, cultivo em estufa (GORJIAN et al., 2020).

Algumas alternativas vêm sendo implementadas como os métodos térmicos, usados para fornecimento de energia. Propiciando o emprego desta fonte aplicação da tecnologia de painéis solares (fotovoltaicos, fotovoltaicos), uma vez que esta tecnologia de sistema de energia tem como principal objetivo satisfazer a demanda de energia elétrica de forma eficaz, eficiente e confiável dentro de considerações técnicas, ambientais e econômicas, uma vez que é a melhor opção de energia renovável para áreas rurais com fornecimento instável de energia elétrica (Torshizi e Mighani, 2017).

Como quase metade da população mundial não tem acesso a suprimentos modernos de energia e muitas pessoas ainda dependem inteiramente de combustíveis fósseis para energia, a adoção desse sistema é eficiente, acessível e confiável, pois não é prejudicial à saúde e ao meio ambiente. Devido a isso, nas últimas décadas, o número de usuários de Tecnologia de Energia de Painéis Solares em fazendas rurais distantes vem aumentando gradativamente (AROONSRI MORAKOT et al. 2020).

A energia solar será convertida em eletricidade de corrente contínua (DC) por semicondutores, então o inversor no controlador da bomba converterá DC em AC ou corrente alternada e a energia fluirá para uma motobomba, depois disso a água do recurso hídrico será bombeada por um motor e coletada no tanque de água (Conserve Energy Future, 2019). A água será usada para fins de irrigação nas fazendas agrícolas rurais, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 6 - Operação do sistema de tecnologia de painel solar para fins de irrigação

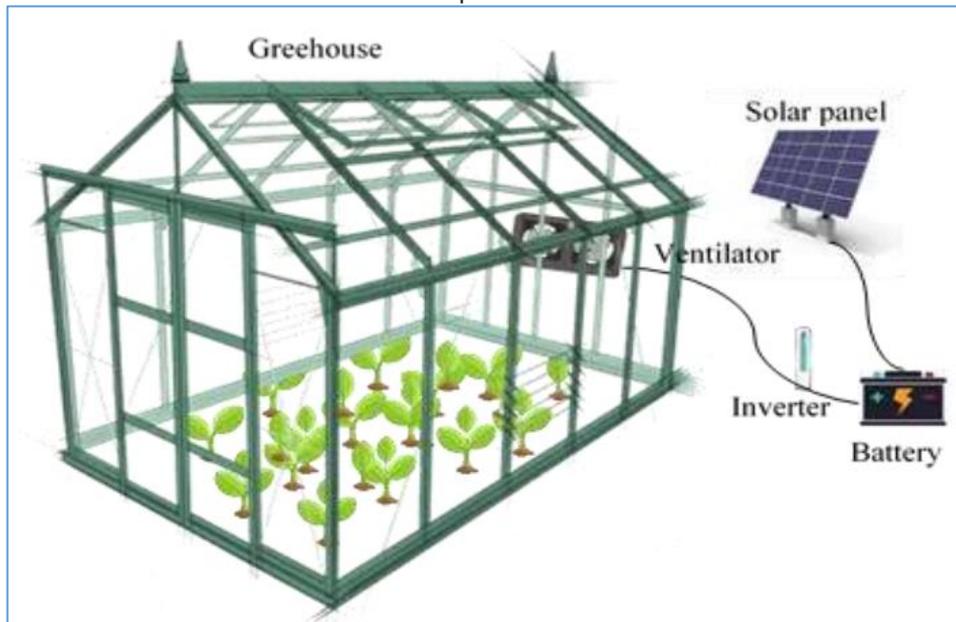


Fonte: adaptado de (AROONSRI MORAKOT et al.2020).

Essas novas tecnologias podem oferecer a melhor solução para a agricultura remota e existem inúmeras aplicações de tecnologias de painéis solares em fazendas agrícolas devido a inovações na tecnologia agrícola (Schneider e Schindele, 2018) a exemplo das bombas de água que suporta a irrigação de culturas, a energia mecânica que serve para o abastecimento de produtos agrícolas, transporte, armazenamento, purificação e eliminação de águas residuais.

Outra aplicação A produção agrícola é influenciada por uma série de fatores, como condições climáticas, abastecimento adequado de água e energia. Portanto, é importante otimizar a produtividade agrícola e maximizar o uso da terra pela aplicação de novas tecnologias com estratégias agrícolas inovadoras para eficiência econômica e uso otimizado de recursos escassos da terra com impacto mínimo no meio ambiente. Uma dessas estratégias é o sistema de cultivo em estufa, onde as condições de temperatura e umidade internas são controladas e determinadas para maior rendimento usando energia solar fotovoltaica, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Sistema de energia do painel solar usado como ventilador interno para controlar a temperatura



Fonte: adaptado de (AROONSRIMORAKOT et al.2020).

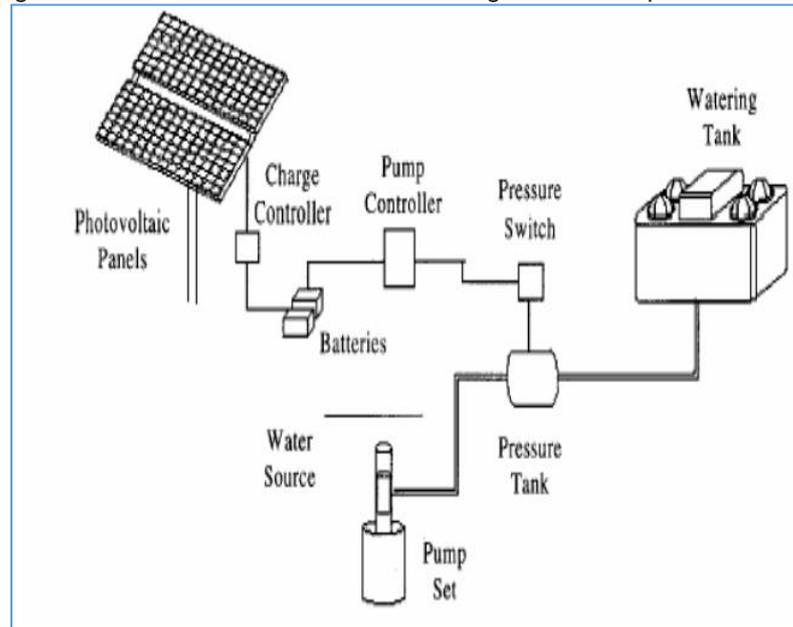
A indústria fotovoltaica tem sido uma importante direção de desenvolvimento das indústrias emergentes estratégicas da China desde 2012, e mais e mais atenções têm sido prestadas para ampliar a demanda doméstica para resolver o problema de excesso de capacidade da indústria fotovoltaica da China. Agricultura fotovoltaica, a

combinação de geração de energia fotovoltaica e atividades agrícolas, é uma resposta natural para fornecer eletricidade verde e sustentável para a agricultura. Existem vários modos de aplicação principais da agricultura fotovoltaica, como estufa agrícola fotovoltaica, reprodução fotovoltaica, purificação de águas residuais fotovoltaicas, bombeamento de água fotovoltaica e estação de energia solar rural de novo tipo (XUE, 2017).

O bombeamento de água é um dos usos mais simples e adequados para a energia fotovoltaica. Da irrigação de culturas à irrigação de gado e usos domésticos, os sistemas de bombeamento movidos a energia fotovoltaica atendem a uma ampla gama de necessidades de água. A maioria desses sistemas tem a vantagem adicional de armazenar água para uso quando o sol não está brilhando, eliminando a necessidade de baterias, aumentando a simplicidade e reduzindo os custos gerais do sistema. Muitas pessoas considerando a instalação de um sistema de bombeamento de água solar são adiadas pela despesa. A visualização da despesa ao longo de um período de 10 anos, no entanto, dá uma ideia melhor do custo real. Ao comparar os custos de instalação (incluindo mão de obra), custos de combustível e custos de manutenção ao longo de 10 anos. Assim, a energia solar é uma escolha econômica. Um sistema de bombeamento movido a energia solar geralmente está na mesma faixa de preço de um novo moinho de vento, mas tende a ser mais confiável e requer menos manutenção (ELKER, 2005).

Existem dois tipos básicos de sistemas de bombeamento de água movidos a energia solar, acoplados a bateria e acoplados diretamente. Uma variedade de fatores deve ser considerada na determinação do sistema ideal para uma aplicação particular (ELKER, 2005).

Figura 8 - Sistema de bombeamento de água solar acoplado a bateria



Fonte: Elker (2005)

A implementação de tecnologias solares fotovoltaicas reduz o consumo de combustível, permitindo o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis e flexíveis. Os avanços nas técnicas agrícolas movidas a energia fotovoltaica seriam altamente benéficos, principalmente para países cuja economia depende fortemente desse setor (GORJIAN et al., 2020).

Várias revisões de literatura destacaram a importância de combinar energia renovável e agricultura. Eles discutiram os diferentes tipos de aplicações de tecnologia de energia solar para secagem de culturas e grãos, aquecimento de espaço e água, aquecimento de estufas, sistema solar fotovoltaico e bomba de água para irrigação. (MEKHILEF et al., 2013).

Na agropecuária a energia solar pode ser utilizada de várias maneiras. A agricultura é a principal fonte de alimento para os seres humanos. No entanto, a fazenda agrícola precisa de um fornecimento constante de energia para operação de máquinas, veículos, bombas de irrigação etc. que é convencionalmente gerado por combustível fóssil. Há um alarme crescente de que esses combustíveis fósseis se esgotarão em breve devido à crescente demanda contínua por consumo (AROONSRIMORAKOT et al., 2018).

Os estudos realizados por Liu et al. (2018) com painéis semitransparentes resultaram que plantas crescem sob o inovador sistema fotovoltaico agrícola são mostrados e discutidos. A eficiência média do sistema fotovoltaico agrícola atingiu mais de 8% e a eficiência média do sistema CPV é de 6,80%. Os resultados dos testes

de plantas que crescem sob o inovador sistema fotovoltaico agrícola são mostrados e discutidos. A eficiência média do sistema fotovoltaico agrícola atingiu mais de 8% e a eficiência média do sistema CPV é de 6,80%. Os resultados dos testes de plantas que crescem sob o inovador sistema fotovoltaico agrícola são mostrados e discutidos. A eficiência média do sistema fotovoltaico agrícola atingiu mais de 8% e a eficiência média do sistema CPV é de 6,80%.

Da mesma forma Gorjian et al., (2020) aponta a tecnologia anterior denominada agro fotovoltaica foi recentemente implementado em várias terras agrícolas em todo o mundo para a coprodução de energia fotovoltaica e alimentos. Atualmente, várias fazendas leiteiras estão usando fotovoltaicos para atender às demandas elétricas de seus equipamentos e instalações, incluindo sistemas de proteção de cultivos. A implementação de tecnologias solares fotovoltaicas reduz o consumo de combustível, permitindo o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis e flexíveis. Os avanços nas técnicas agrícolas movidas a energia fotovoltaica seriam altamente benéficos, principalmente para países cuja economia depende fortemente desse setor.

Propostas chinesas para o aproveitamento da energia fotovoltaica pode efetivamente aliviar a contradição entre mais população e menos terra, promover poderosamente o desenvolvimento da agricultura ambiental controlada, evidentemente aumentar os benefícios econômicos dos agricultores e melhorar significativamente o meio ambiente devido à redução de emissões na China (XUE, 2017).

Nos últimos anos, a agricultura fotovoltaica tem um rápido desenvolvimento na China devido a políticas de apoio poderosas, agricultura ambiental controlada florescente, eletrificação rural orientada para a política e maquinaria elétrica promissora para estufa. Portanto, a agricultura fotovoltaica oferece uma nova oportunidade para a indústria fotovoltaica da chinesa, não apenas para resolver o dilema do excesso de capacidade da indústria fotovoltaica da China de forma eficaz, mas também para acelerar o desenvolvimento da agricultura moderna na China (XUE, 2017).

Como o aumento no preço por aumento na potência unitária de um sistema fotovoltaico é maior do que o de um sistema a diesel, gasolina ou elétrico, a energia fotovoltaica é mais competitiva em termos de custo quando o sistema de irrigação com o qual opera tem uma carga dinâmica total baixa. Por esta razão, a energia fotovoltaica

é mais competitiva em termos de custo quando usada para alimentar um sistema de micro irrigação em comparação com um sistema de aspersão aéreo. A energia fotovoltaica para irrigação é competitiva em termos de custos com fontes de energia tradicionais para aplicações pequenas e remotas, se o projeto total do sistema e o tempo de utilização forem cuidadosamente considerados e organizados para usar a energia solar da maneira mais eficiente possível (ELKER, 2005).

## 4.2 EXPLORAÇÃO DA ENERGIA SOLAR PELA INDÚSTRIA

A energia solar tem se consolidado como uma solução estratégica para a indústria, especialmente em um cenário global de busca por fontes renováveis e sustentáveis de energia. A exploração dessa fonte energética no setor industrial ocorre principalmente por meio da instalação de sistemas fotovoltaicos on-grid ou off-grid, que permitem a geração de eletricidade diretamente nas dependências das empresas. Essa abordagem não apenas reduz os custos operacionais com energia, mas também contribui para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (RÜTHER, 2004).

A aplicação da energia solar na indústria pode ser observada em diferentes contextos, desde pequenas fábricas até grandes complexos industriais. Um dos exemplos mais comuns é o uso de painéis solares instalados nos telhados das fábricas ou em áreas adjacentes, onde há espaço disponível para a instalação de grandes usinas solares. Segundo Mariano et al. (2023), essa prática tem ganhado destaque no Brasil, especialmente em regiões com alta incidência solar, como o Nordeste, onde a viabilidade econômica é ainda mais evidente.

A principal vantagem da adoção de energia solar pela indústria está na redução significativa dos custos com energia elétrica, que frequentemente representam uma fatia considerável dos gastos operacionais. Como destacam Batista et al. (2020), a energia solar oferece previsibilidade nos custos energéticos, uma vez que a fonte é gratuita e abundante, diferentemente das tarifas convencionais de energia, que estão sujeitas a flutuações de mercado. Além disso, a possibilidade de gerar créditos energéticos em sistemas on-grid amplia os benefícios financeiros para as empresas.

Outro aspecto relevante é a potencialidade de integração da energia solar com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT). Costa (2023) argumenta que a automação industrial pode ser combinada com sistemas

fotovoltaicos para otimizar o consumo de energia, maximizando a eficiência e reduzindo desperdícios. Essa integração permite que as indústrias monitorem e controlem o uso de energia em tempo real, adaptando-se às demandas produtivas e às condições climáticas.

No entanto, a viabilidade da energia solar na indústria depende de diversos fatores, incluindo o custo inicial de instalação, a disponibilidade de espaço para a implantação dos painéis e as políticas governamentais de incentivo. Conforme apontado por MME e EPE (2020), embora o custo dos sistemas fotovoltaicos tenha diminuído significativamente nos últimos anos, o investimento inicial ainda pode ser uma barreira para pequenas e médias empresas. Nesse sentido, programas de financiamento e subsídios desempenham um papel crucial na disseminação dessa tecnologia.

A utilização de energia solar na indústria é particularmente comum em setores que demandam grande consumo de energia, como a produção de alimentos, têxteis e materiais de construção. Aroonsrimorakot et al. (2020) destacam que a agricultura sustentável também pode se beneficiar da energia solar, especialmente em processos como irrigação e secagem de grãos. No caso da indústria alimentícia, a energia solar pode ser usada para alimentar equipamentos de refrigeração e processamento, garantindo maior eficiência e redução de custos.

Além disso, a energia solar tem sido amplamente adotada em indústrias localizadas em regiões remotas ou com acesso limitado à rede elétrica convencional. Nesses casos, sistemas off-grid são frequentemente utilizados, permitindo que as empresas operem de forma autossuficiente. Miki (2019) apresenta exemplos de sucesso na implementação de sistemas solares em comunidades isoladas do Amazonas, onde a energia solar tem sido fundamental para o desenvolvimento industrial e socioeconômico.

A sustentabilidade é outro fator que impulsiona a adoção da energia solar na indústria. Conforme discutido por Tolmasquim (2016), a transição para fontes renováveis é essencial para atender às metas globais de redução de emissões de carbono. A energia solar, por ser limpa e inesgotável, desempenha um papel central nesse processo, ajudando as empresas a melhorarem sua imagem corporativa e a atrair consumidores conscientes.

Apesar dos benefícios, existem desafios associados à exploração da energia solar pela indústria. Um dos principais obstáculos é a intermitência da fonte, que

depende da disponibilidade de luz solar. Rossi (2023) enfatiza que o desenvolvimento de tecnologias de armazenamento, como baterias de alta capacidade, é essencial para superar esse desafio e garantir um fornecimento contínuo de energia. No entanto, o alto custo dessas tecnologias ainda limita sua adoção em larga escala.

Outro ponto crítico é a necessidade de adaptação das infraestruturas industriais para acomodar os sistemas fotovoltaicos. PEREIRA (2019) argumenta que muitas empresas enfrentam dificuldades técnicas e logísticas ao integrar a energia solar em suas operações, especialmente em instalações antigas ou com espaço limitado. Nesse contexto, soluções inovadoras, como os sistemas Building-Integrated Photovoltaics (BIPV), podem oferecer alternativas mais eficientes e esteticamente integradas.

A viabilidade econômica da energia solar na indústria também está diretamente relacionada à política regulatória e aos incentivos fiscais. ANEEL (2019) ressalta que a redução das perdas de energia na distribuição e a simplificação dos processos de conexão à rede elétrica são fundamentais para estimular a adoção de sistemas solares. Além disso, programas de crédito tributário e financiamento a juros baixos podem facilitar o acesso a essa tecnologia.

Em termos de potencialidade, a energia solar apresenta uma oportunidade única para as indústrias diversificarem suas fontes de energia e reduzirem sua dependência de combustíveis fósseis. Pereira e Silva Neto (2020) destacam que a diversificação da matriz energética é essencial para aumentar a resiliência das empresas frente às volatilidades do mercado de energia. A energia solar, por sua flexibilidade e escalabilidade, é uma opção estratégica para alcançar esse objetivo.

Ainda sobre as potencialidades, Silva (2023) destaca que o avanço tecnológico está ampliando as aplicações da energia solar na indústria. Novos materiais e designs de painéis fotovoltaicos estão tornando os sistemas mais eficientes e acessíveis, enquanto a integração com inteligência artificial e IoT está permitindo uma gestão mais precisa e automatizada do consumo de energia.

Por fim, vale ressaltar que a exploração da energia solar pela indústria não está limitada ao Brasil. Xue (2017) apresenta exemplos internacionais, como a China, onde a "agrofotovoltaica" tem sido amplamente adotada para combinar a geração de energia com atividades agrícolas e industriais. Essa abordagem demonstra o potencial de sinergia entre diferentes setores para criar soluções integradas e sustentáveis.

## 5 VIABILIDADE ECONÔMICA

Ao tratar sobre a viabilidade econômica da energia solar, é importante abordar uma série de tópicos que permitam analisar tanto os aspectos positivos quanto os desafios associados à implementação dessa fonte de energia. Abaixo, apresento uma lista detalhada de tópicos que podem ser explorados:

### 5.1. CUSTOS INICIAIS E INVESTIMENTO

A viabilidade econômica da energia solar é um tema de crescente relevância no cenário global, especialmente em um contexto de transição para fontes renováveis de energia. Um dos principais fatores a serem considerados é o custo inicial de instalação dos sistemas fotovoltaicos, que engloba a aquisição de painéis solares, inversores, baterias (quando aplicável) e outros equipamentos necessários. De acordo com Batista et al. (2020), os custos iniciais de implementação de sistemas solares ainda representam uma barreira significativa para muitos consumidores, especialmente em países emergentes como o Brasil. No entanto, esses custos têm diminuído consistentemente ao longo das últimas décadas, impulsionados pelo avanço tecnológico e pela maior escala de produção.

Ao comparar os custos iniciais da energia solar com outras fontes de energia, percebe-se que ela apresenta desafios específicos. Por exemplo, enquanto usinas hidrelétricas e termelétricas exigem investimentos massivos em infraestrutura, os sistemas solares são mais modulares e escaláveis. Conforme destacado por Pereira et al. (2020), isso torna a energia solar particularmente atrativa para pequenas e médias empresas, além de residências. No entanto, quando comparada a fontes não renováveis, como gás natural e petróleo, a energia solar ainda enfrenta desafios relacionados à intermitência e à necessidade de armazenamento. Shayani, Oliveira e Camargo (2006) argumentam que, apesar dessas limitações, o custo nivelado da energia solar tem se tornado competitivo em várias regiões do mundo.

Os incentivos fiscais e subsídios governamentais desempenham um papel crucial na viabilização econômica da energia solar. Programas como isenções fiscais, créditos tributários e financiamentos específicos para projetos solares têm sido amplamente adotados em diversos países. No Brasil, por exemplo, a ANEEL (2019) tem incentivado a adoção de sistemas fotovoltaicos por meio de políticas que simplificam a conexão à rede elétrica e reduzem as perdas de energia na distribuição.

Esses incentivos não apenas reduzem o custo inicial para os consumidores, mas também estimulam o desenvolvimento do mercado de energia solar, conforme observado por MME e EPE (2020).

Outro aspecto importante é a análise comparativa entre sistemas on-grid e off-grid. Os sistemas conectados à rede elétrica (on-grid) geralmente apresentam menor custo inicial, uma vez que dispensam a necessidade de baterias para armazenamento. Já os sistemas off-grid, embora mais caros devido à inclusão de baterias, são essenciais em áreas remotas ou isoladas. PEREIRA (2019) ressalta que a escolha entre essas modalidades depende das condições locais e das necessidades específicas do usuário, sendo fundamental uma avaliação cuidadosa dos custos envolvidos.

Além disso, o retorno sobre o investimento (ROI) é um indicador amplamente utilizado para avaliar a viabilidade econômica da energia solar. O tempo de retorno, ou payback time, varia de acordo com fatores como a localização geográfica, a insolação média e as tarifas de energia locais. Segundo Rütther (2004), em regiões com alta incidência solar, como o Nordeste brasileiro, o payback time pode ser inferior a cinco anos, tornando os sistemas solares extremamente atrativos. Esse aspecto é corroborado por Mariano et al. (2023), que destacam o potencial da energia solar para reduzir os custos operacionais em áreas rurais.

O impacto ambiental também deve ser considerado na análise econômica. Embora os custos iniciais sejam frequentemente mais altos, a energia solar oferece benefícios de longo prazo, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e a mitigação dos impactos ambientais associados às fontes tradicionais de energia. Tolmasquim (2016) enfatiza que a transição para energias renováveis é essencial para atender às metas globais de sustentabilidade, e a energia solar desempenha um papel central nesse processo.

A vida útil dos equipamentos é outro fator que influencia diretamente a viabilidade econômica. Painéis solares têm uma vida útil média de 25 a 30 anos, enquanto inversores e baterias podem precisar de substituição após alguns anos de uso. Villalva (2015) destaca que, embora os custos de manutenção sejam relativamente baixos, é importante considerar os custos de reposição de componentes ao calcular o retorno sobre o investimento. Isso é particularmente relevante para sistemas off-grid, onde as baterias representam uma parte significativa do custo total.

A integração de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), também pode impactar positivamente a viabilidade econômica da energia solar. Costa (2023) argumenta que a automação e o monitoramento em tempo real permitem otimizar o consumo de energia, maximizando a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Essa abordagem não apenas reduz custos, mas também melhora a experiência do usuário, tornando a adoção da energia solar mais atrativa.

Por outro lado, os desafios econômicos permanecem significativos. A intermitência da energia solar e a necessidade de armazenamento continuam sendo obstáculos para sua viabilidade em larga escala. Rossi (2023) destaca que o desenvolvimento de tecnologias de armazenamento mais eficientes e acessíveis é essencial para superar esses desafios, mas o alto custo das baterias ainda é uma barreira considerável.

Em termos de aplicação prática, a energia solar tem sido amplamente adotada em setores como a agricultura, indústria e habitação. MIKI (2019) apresenta exemplos de sucesso na implementação de sistemas solares em comunidades isoladas do Amazonas, onde a energia solar tem sido fundamental para melhorar a qualidade de vida e promover o desenvolvimento socioeconômico. Da mesma forma, Aroonsrimorakot et al. (2020) destacam o potencial da energia solar para sustentar práticas agrícolas sustentáveis, reduzindo os custos operacionais e aumentando a produtividade.

A diversificação da matriz energética também é um fator que influencia a viabilidade econômica da energia solar. Pereira e Silva Neto (2020) argumentam que a incorporação de fontes renováveis, como a solar, é essencial para aumentar a resiliência do sistema elétrico frente às volatilidades do mercado de energia. Isso está alinhado com as diretrizes do Plano Nacional de Energia 2050, que prevê um aumento significativo na participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira.

Por fim, vale ressaltar que a viabilidade econômica da energia solar está intrinsecamente ligada às políticas públicas e ao suporte regulatório. ANEEL (2019) destaca que a simplificação dos processos de conexão à rede elétrica e a redução das perdas de energia na distribuição são fundamentais para estimular a adoção de sistemas solares. Além disso, programas de financiamento a juros baixos e subsídios governamentais podem facilitar o acesso a essa tecnologia, especialmente para pequenas e médias empresas.

## 5.2 REDUÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS

A energia solar se destaca como uma solução economicamente viável para reduzir custos operacionais, especialmente em comparação com outras fontes de energia. Um dos principais fatores que contribuem para essa redução é o baixo custo de manutenção associado aos sistemas fotovoltaicos. De acordo com Villalva (2015), os painéis solares requerem pouca manutenção ao longo de sua vida útil, que pode variar entre 25 e 30 anos. Essa característica é particularmente vantajosa quando comparada a fontes como termelétricas ou usinas nucleares, que demandam manutenções frequentes e caras, além de dependerem de insumos contínuos, como combustíveis fósseis ou urânio.

Outro aspecto relevante é a economia significativa nas contas de energia elétrica, uma vez que os sistemas solares reduzem ou eliminam a dependência da rede elétrica convencional. Como destacam Batista et al. (2020), a geração distribuída de energia solar permite que os consumidores produzam sua própria eletricidade, reduzindo drasticamente os custos operacionais. Em alguns casos, os sistemas on-grid permitem que o excedente de energia gerada seja injetado na rede, gerando créditos energéticos que podem ser utilizados posteriormente. Essa prática não apenas reduz os custos imediatos, mas também oferece previsibilidade nos gastos com energia a longo prazo.

A vida útil dos equipamentos também desempenha um papel crucial na redução dos custos operacionais. Painéis solares têm uma vida útil média de 25 a 30 anos, conforme observado por Rüter (2004). Durante esse período, os sistemas fotovoltaicos operam com alta eficiência, exigindo poucas intervenções técnicas. Embora inversores e baterias possam precisar de substituição após alguns anos, esses custos são relativamente baixos em comparação com os investimentos necessários para manter outras fontes de energia funcionando continuamente. Isso amplia o retorno sobre o investimento, tornando a energia solar uma opção econômica atraente.

Além disso, a energia solar reduz os custos operacionais ao minimizar as perdas de energia na distribuição. Conforme apontado pela ANEEL (2019), sistemas de geração distribuída instalados próximos ao ponto de consumo eliminam as perdas associadas à transmissão de energia a longo prazo. Esse benefício é particularmente

relevante em áreas urbanas, onde as redes elétricas tradicionais enfrentam desafios relacionados à eficiência e à sobrecarga. A redução dessas perdas contribui diretamente para a economia financeira e a sustentabilidade do sistema elétrico.

A economia proporcionada pela energia solar também está intrinsecamente ligada à ausência de custos com combustíveis. Diferentemente das termelétricas, que dependem de carvão, gás natural ou óleo combustível, os sistemas solares utilizam uma fonte de energia gratuita e inesgotável: o sol. Shayani, Oliveira e Camargo (2006) argumentam que essa característica torna a energia solar uma alternativa mais estável e previsível em termos de custos operacionais, especialmente em um cenário de volatilidade nos preços dos combustíveis fósseis.

Outro ponto importante é a integração da energia solar com tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT). Costa (2023) demonstra que a automação residencial e industrial pode otimizar o uso da energia solar, maximizando a eficiência e reduzindo desperdícios. Por exemplo, sistemas IoT podem monitorar o consumo de energia em tempo real, ajustando automaticamente o uso para minimizar custos. Essa abordagem não apenas reduz os custos operacionais, mas também melhora a experiência do usuário, tornando a adoção da energia solar ainda mais atrativa.

No contexto industrial, a redução dos custos operacionais com energia solar é ainda mais evidente. Mariano et al. (2023) destacam que empresas que adotam sistemas fotovoltaicos conseguem reduzir significativamente suas despesas com energia elétrica, que frequentemente representam uma fatia considerável dos custos operacionais. Além disso, a energia solar contribui para a sustentabilidade corporativa, melhorando a imagem das empresas e atraindo consumidores conscientes. Essa combinação de economia e responsabilidade ambiental amplifica os benefícios da adoção dessa tecnologia.

Em regiões rurais ou isoladas, a energia solar também desempenha um papel crucial na redução dos custos operacionais. Miki (2019) apresenta exemplos de comunidades isoladas no Amazonas, onde a energia solar tem sido fundamental para reduzir os custos associados ao transporte e uso de combustíveis fósseis. Nesses casos, os sistemas off-grid, embora mais caros inicialmente, oferecem uma solução econômica a longo prazo, eliminando a necessidade de geradores a diesel e outras fontes de energia menos eficientes.

A baixa manutenção dos sistemas solares também contribui para a redução dos custos indiretos, como a contratação de mão de obra especializada ou a interrupção das operações para reparos. Pereira (2019) ressalta que, enquanto usinas nucleares e termelétricas exigem equipes técnicas constantemente disponíveis, os sistemas fotovoltaicos podem operar de forma autônoma por longos períodos, reduzindo a necessidade de intervenções humanas e, conseqüentemente, os custos operacionais.

Outro fator que amplia a economia é a durabilidade dos materiais utilizados nos painéis solares. Bezerra (2020) explica que os avanços tecnológicos têm aumentado a resistência dos painéis a condições climáticas adversas, como chuvas intensas, ventos fortes e altas temperaturas. Essa robustez garante que os sistemas solares mantenham sua eficiência ao longo de décadas, reduzindo a necessidade de reparos ou substituições frequentes e, portanto, os custos operacionais associados..

### 5.3 RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (ROI)

O retorno sobre o investimento (ROI) na energia solar é um indicador fundamental para avaliar a viabilidade econômica dessa tecnologia em diferentes setores. Um dos aspectos mais relevantes é o *payback time*, ou tempo de retorno, que estima o período necessário para recuperar o investimento inicial por meio da economia gerada com a redução das contas de energia. Segundo SHAYANI, OLIVEIRA e CAMARGO (2006), sistemas fotovoltaicos podem apresentar tempos de retorno entre 4 e 8 anos, dependendo da localização geográfica e das tarifas de energia locais. Por exemplo, em regiões do Nordeste brasileiro, onde a insolação é alta, o payback pode ser ainda mais curto, tornando os sistemas solares extremamente atrativos.

Além disso, a valorização imobiliária é outro fator que contribui para o ROI da energia solar. Propriedades equipadas com sistemas solares tendem a ter maior valor de mercado, conforme destacado por RÜTHER (2004) e MME e EPE (2020). Isso ocorre porque os compradores percebem o benefício econômico e ambiental desses sistemas, além da previsibilidade nos custos energéticos. Um exemplo prático seria uma residência no estado de São Paulo, onde a instalação de painéis solares pode aumentar o valor do imóvel em até 10%, segundo estudos mencionados por PEREIRA (2019).

As projeções sobre o aumento das tarifas de energia elétrica convencional também impactam diretamente o ROI da energia solar. Conforme apontado por FERREIRA: TEIXEIRA (2015) e FARIAS e SELLITTO (2011), as tarifas de energia têm apresentado um crescimento consistente ao longo dos anos, impulsionado por fatores como inflação, aumento dos custos de geração e distribuição, e políticas regulatórias. Em um cenário de tarifas crescentes, os sistemas solares se tornam ainda mais vantajosos, pois permitem aos consumidores "travar" seus custos energéticos a longo prazo.

No setor industrial, o ROI da energia solar pode ser ainda mais expressivo. GUARAGNIO (2017) e MIKI (2019) apresentam exemplos de empresas agrícolas e indústrias que adotaram sistemas fotovoltaicos e obtiveram retornos significativos. Por exemplo, uma fazenda no Rio Grande do Sul que instalou um sistema solar para irrigação reduziu seus custos operacionais em 60% em apenas dois anos. Esse tipo de aplicação demonstra como a energia solar pode ser uma solução estratégica para reduzir despesas e melhorar a competitividade no mercado.

Outro ponto importante é a integração de sistemas solares com tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT). SARMENTO et al. (2021) e ROSSI (2023) argumentam que a automação e o monitoramento em tempo real podem otimizar o uso da energia solar, maximizando a eficiência e reduzindo desperdícios. Por exemplo, uma indústria que implementou um sistema IoT para monitorar o consumo de energia conseguiu reduzir seu tempo de retorno em aproximadamente 1 ano, graças à otimização do uso da energia gerada pelos painéis solares.

A geração distribuída também desempenha um papel crucial no ROI da energia solar. Conforme explicado por PEREIRA (2019) e ANEEL (2019), sistemas conectados à rede elétrica (on-grid) permitem que os consumidores injetem o excedente de energia na rede, gerando créditos que podem ser utilizados posteriormente. Um exemplo real seria uma pequena empresa no interior de Minas Gerais que, ao instalar um sistema fotovoltaico de 10 kW, conseguiu zerar sua conta de energia e acumular créditos suficientes para abastecer suas operações durante meses de baixa insolação.

No setor residencial, o ROI da energia solar também é favorecido pela simplicidade dos sistemas e pela disponibilidade de financiamentos específicos. LIMA (2019) e SANTOS (2023) destacam que muitas famílias conseguem amortizar o

investimento inicial em menos de 5 anos, especialmente quando optam por financiamentos a juros baixos oferecidos por instituições financeiras parceiras. Por exemplo, uma residência em Brasília que investiu R\$ 25.000 em um sistema solar viu sua conta de luz cair de R\$ 500 para R\$ 50 mensais, resultando em uma economia anual de R\$ 5.400.

A valorização imobiliária também é um fator relevante no setor comercial. RÜTHER (2004) e SCHNEIDER e SCHINDELE (2018) apresentam estudos que mostram como edifícios comerciais equipados com sistemas solares podem atrair inquilinos mais facilmente, além de aumentar o valor de venda ou locação. Um exemplo seria um shopping center no estado de Santa Catarina que, após instalar painéis solares em seu telhado, conseguiu reduzir seus custos operacionais em 30%, além de aumentar o valor do imóvel em 15%.

O ROI da energia solar também está intrinsecamente ligado às políticas públicas de incentivo. MME e EPE (2020) e ONS (2021) destacam que programas governamentais, como isenções fiscais e financiamentos específicos, reduzem o custo inicial e aceleram o tempo de retorno. Por exemplo, uma empresa no estado do Amazonas que recebeu subsídios para instalar um sistema off-grid conseguiu reduzir seu payback time em 2 anos, graças à redução dos custos iniciais.

Outro exemplo prático é o uso da energia solar em comunidades isoladas. MIKI (2019) e Schwade e Zdanowics (2014) apresentam casos de sucesso no Amazonas, onde sistemas solares foram implementados para substituir geradores a diesel. Essas iniciativas não apenas melhoraram a qualidade de vida das comunidades, mas também proporcionaram economias significativas, com retornos sobre o investimento observados em menos de 5 anos.

No setor agrícola, o ROI da energia solar é amplificado pela redução dos custos operacionais associados à irrigação e ao processamento de produtos. Guaragnio (2017) e Melo et al. (2020) destacam que fazendas que adotaram sistemas solares conseguiram reduzir drasticamente seus custos com energia, além de aumentar a produtividade. Um exemplo seria uma propriedade rural no Paraná que, ao instalar um sistema fotovoltaico, reduziu seus custos com energia elétrica em 70%, resultando em um payback time de aproximadamente 4 anos.

A combinação de energia solar com outras fontes renováveis também pode ampliar o ROI. Tolmasquim (2016) e Pereira et al. (2020) argumentam que a diversificação da matriz energética é essencial para aumentar a resiliência e a eficiência dos sistemas. Por exemplo, uma cooperativa agrícola no Rio Grande do Sul que combinou energia solar com biogás conseguiu reduzir seus custos operacionais em 50%, além de aumentar a sustentabilidade de suas operações.

Por fim, vale ressaltar que o ROI da energia solar também está sujeito a variações regionais. Bezerra (2020) e Batista et al. (2020) destacam que regiões com alta incidência solar, como o Nordeste brasileiro, apresentam retornos mais rápidos em comparação a áreas com menor insolação. Um exemplo seria uma residência no Ceará que, graças à alta insolação, conseguiu recuperar seu investimento em apenas 3 anos, enquanto uma residência no Sul do país levou 5 anos para atingir o mesmo objetivo.

#### 5.4 ASPECTOS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE

A energia fotovoltaica tem sido amplamente discutida como uma solução sustentável e economicamente viável para a geração de energia. Segundo Shayani, Oliveira e Camargo (2006), os custos da energia solar têm se tornado cada vez mais competitivos em relação às fontes convencionais de energia, especialmente em regiões com alta incidência solar. Esse cenário é reforçado por Batista et al. (2020), que destacam a redução dos custos de produção de painéis solares como um fator determinante para a viabilidade econômica dessa tecnologia.

No entanto, a viabilidade da energia fotovoltaica não está limitada apenas aos aspectos financeiros. A sustentabilidade também desempenha um papel crucial na sua adoção. Conforme apontado por Tolmasquim (2016) e Pereira et al. (2020), a energia solar contribui significativamente para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se às metas globais de desenvolvimento sustentável. Essa característica torna a energia fotovoltaica particularmente vantajosa em áreas urbanas, onde a concentração de poluentes tende a ser maior.

A aplicação da energia fotovoltaica em ambientes rurais também demonstra grande potencial. Guaragnio (2017) e Miki (2019) apresentam exemplos de sucesso no uso de sistemas solares em comunidades isoladas do Amazonas, onde a energia

solar tem sido fundamental para melhorar a qualidade de vida e promover o desenvolvimento socioeconômico. Esses estudos mostram que a energia solar pode ser uma solução eficaz para regiões com acesso limitado à rede elétrica convencional.

A viabilidade econômica da energia fotovoltaica também está intrinsecamente ligada à política regulatória e aos incentivos governamentais. Aneel (2019) e Mme e Epe (2020) destacam que programas de financiamento, isenções fiscais e simplificação dos processos de conexão à rede elétrica são fundamentais para estimular a adoção de sistemas solares. Esses incentivos reduzem o custo inicial e aceleram o retorno sobre o investimento, tornando a energia solar ainda mais atrativa.

Outro ponto relevante é a integração da energia fotovoltaica com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT). Costa (2023) e Sarmiento et al. (2021) argumentam que a automação e o monitoramento em tempo real podem otimizar o uso da energia solar, maximizando a eficiência e reduzindo desperdícios. Essa abordagem não apenas melhora a viabilidade econômica, mas também oferece uma experiência mais personalizada para os usuários.

A energia fotovoltaica também se destaca por sua modularidade e escalabilidade, características que a tornam adequada para diferentes tipos de consumidores. Rüter (2004) e Pereira (2019) explicam que, desde pequenas residências até grandes complexos industriais, os sistemas solares podem ser dimensionados para atender às necessidades específicas de cada usuário. Essa flexibilidade amplia as possibilidades de aplicação e aumenta a atratividade dessa tecnologia.

Em termos de sustentabilidade, a energia fotovoltaica apresenta impactos ambientais mínimos em comparação com outras fontes de energia. Chiarello e Santos (2018) e Ferreira: Teixeira (2015) destacam que a energia solar é uma alternativa limpa e renovável, com menor pegada ecológica. Isso a torna especialmente vantajosa em contextos onde a preservação ambiental é uma prioridade.

No entanto, existem desafios que precisam ser superados para garantir a viabilidade da energia fotovoltaica. Rossi (2023) e Villalva (2015) enfatizam que a intermitência da fonte solar e a necessidade de armazenamento representam obstáculos significativos. O desenvolvimento de tecnologias de baterias mais eficientes e acessíveis é essencial para superar essas limitações e ampliar a aplicação da energia solar.

A viabilidade econômica da energia fotovoltaica também varia de acordo com a localização geográfica. Bezerra (2020) e Lima (2019) destacam que regiões com alta insolação, como o Nordeste brasileiro, apresentam retornos mais rápidos sobre o investimento. Nesses casos, o tempo de retorno (payback time) pode ser inferior a cinco anos, tornando os sistemas solares extremamente atrativos.

Outro fator que influencia a viabilidade da energia fotovoltaica é a valorização imobiliária. Propriedades equipadas com sistemas solares tendem a ter maior valor de mercado, conforme observado por Rütther (2004) e Schneider e Schindele (2018). Essa característica é particularmente relevante no setor comercial, onde edifícios com sistemas fotovoltaicos podem atrair inquilinos mais facilmente.

A energia fotovoltaica também pode ser combinada com outras práticas agrícolas, como na agrofotovoltaica. Xue (2017) e Mekhilef et al. (2013) apresentam exemplos de sucesso na integração de painéis solares com cultivos agrícolas, maximizando o uso da terra e gerando múltiplos benefícios econômicos e ambientais. Essa abordagem demonstra o potencial de sinergia entre diferentes setores para criar soluções integradas e sustentáveis.

No setor industrial, a energia fotovoltaica tem se mostrado uma solução estratégica para reduzir custos operacionais. Mariano et al. (2023) e Guaragnio (2017) destacam que empresas que adotam sistemas solares conseguem reduzir significativamente suas despesas com energia elétrica, além de melhorar sua imagem corporativa e atrair consumidores conscientes. Essa combinação de economia e responsabilidade ambiental amplifica os benefícios da adoção dessa tecnologia.

Vale ressaltar que a viabilidade da energia fotovoltaica também depende da previsibilidade dos custos energéticos. Pereira et al. (2020) e Tolmasquim (2016) argumentam que a energia solar oferece estabilidade nos custos a longo prazo, diferentemente das tarifas convencionais de energia, que estão sujeitas a flutuações de mercado. Essa previsibilidade é particularmente relevante para empresas e residências que buscam planejar seus gastos com energia de forma mais eficiente.

## 6. CONCLUSÃO

As considerações finais deste estudo apontam que a energia fotovoltaica apresenta uma viabilidade econômica significativa, especialmente quando analisada sob a perspectiva de médio e longo prazo. Apesar dos custos iniciais de instalação ainda serem um desafio para muitos consumidores, os avanços tecnológicos têm reduzido progressivamente esses valores, tornando os sistemas solares mais acessíveis. A previsibilidade nos custos energéticos e a redução das contas de eletricidade são fatores que ampliam o retorno sobre o investimento, consolidando a energia solar como uma alternativa financeiramente atrativa.

A sustentabilidade é outro ponto crucial que reforça a importância da energia fotovoltaica. Ao optar por essa fonte renovável, empresas e residências não apenas reduzem suas despesas operacionais, mas também contribuem para a mitigação dos impactos ambientais associados às fontes tradicionais de energia. Essa combinação de benefícios econômicos e ambientais tem sido determinante para a crescente adoção dessa tecnologia em diversos setores, desde indústrias até comunidades isoladas.

No contexto urbano, a integração da energia fotovoltaica aos edifícios demonstra grande potencial para transformar as cidades em ambientes mais autossuficientes e sustentáveis. Soluções como os sistemas Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) permitem que os próprios imóveis se tornem geradores de energia, reduzindo a dependência da rede elétrica convencional. Além disso, a valorização imobiliária associada à instalação desses sistemas torna a energia solar ainda mais vantajosa para proprietários e investidores.

As considerações finais deste estudo apontam que a energia fotovoltaica apresenta uma viabilidade econômica significativa, especialmente quando analisada sob a perspectiva de médio e longo prazo. Apesar dos custos iniciais de instalação ainda serem um desafio para muitos consumidores, os avanços tecnológicos têm reduzido progressivamente esses valores, tornando os sistemas solares mais acessíveis. A previsibilidade nos custos energéticos e a redução das contas de eletricidade são fatores que ampliam o retorno sobre o investimento, consolidando a energia solar como uma alternativa financeiramente atrativa.

A sustentabilidade é outro ponto crucial que reforça a importância da energia fotovoltaica. Ao optar por essa fonte renovável, empresas e residências não apenas

reduzem suas despesas operacionais, mas também contribuem para a mitigação dos impactos ambientais associados às fontes tradicionais de energia. Essa combinação de benefícios econômicos e ambientais tem sido determinante para a crescente adoção dessa tecnologia em diversos setores, desde indústrias até comunidades isoladas.

No contexto urbano, a integração da energia fotovoltaica aos edifícios demonstra grande potencial para transformar as cidades em ambientes mais autossuficientes e sustentáveis. Soluções como os sistemas Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) permitem que os próprios imóveis se tornem geradores de energia, reduzindo a dependência da rede elétrica convencional. Além disso, a valorização imobiliária associada à instalação desses sistemas torna a energia solar ainda mais vantajosa para proprietários e investidores.

Portanto, a energia fotovoltaica destaca-se como uma alternativa fundamental para a construção de um modelo energético mais sustentável e ambientalmente equilibrado. A incorporação de tecnologias avançadas, como sistemas de monitoramento remoto, inversores inteligentes e armazenamento de energia, contribui para aprimorar a eficiência e confiabilidade dos sistemas solares. Essas inovações não apenas elevam a viabilidade econômica da energia solar, mas também desempenham um papel essencial na redução da emissão de gases de efeito estufa e na mitigação dos impactos climáticos adversos.

A associação da energia fotovoltaica com sistemas de automação residencial e medidores inteligentes possibilita um gerenciamento mais eficiente e racional do consumo de eletricidade. Esse processo favorece práticas sustentáveis ao permitir a adaptação automática dos dispositivos elétricos às condições de geração solar, otimizando seu aproveitamento e reduzindo desperdícios. Com essa integração, torna-se viável o controle remoto do uso energético, promovendo maior consciência sobre a utilização dos recursos naturais e incentivando a adoção de um consumo mais responsável.

Ao oferecer um modelo descentralizado para a geração de eletricidade, a energia fotovoltaica fortalece a segurança e a resiliência do fornecimento energético. A dependência de fontes convencionais, como usinas termelétricas e nucleares, é reduzida, tornando as comunidades mais autossuficientes e menos vulneráveis a falhas no suprimento de energia. Esse caráter distribuído da energia solar favorece

uma transição gradual para um sistema energético mais democrático e acessível, beneficiando tanto áreas urbanas quanto rurais.

A crescente inserção de sistemas fotovoltaicos em empreendimentos residenciais e comerciais reflete um compromisso crescente com a transição para uma economia de baixo carbono e a preservação ambiental. O avanço contínuo da tecnologia fotovoltaica e sua integração com soluções inteligentes reforçam a tendência de consolidação da energia solar como uma fonte indispensável para o futuro da matriz energética global. A perspectiva é de um cenário onde a energia renovável desempenhará um papel cada vez mais central no desenvolvimento sustentável.

A literatura aponta que a combinação da energia solar com o bombeamento de água para irrigação pode trazer benefícios significativos para a agropecuária, especialmente na produção de mudas forrageiras e cultivos específicos que exigem controle térmico. A produção agrícola é um pilar essencial para a segurança alimentar e, por isso, a adoção de inovações tecnológicas torna-se imprescindível para o aumento da produtividade. Entretanto, o uso crescente de combustíveis fósseis nas atividades agrícolas levanta preocupações ambientais, dado o alto volume de emissões de CO<sub>2</sub>. Para otimizar essa integração, é necessário estabelecer padrões técnicos que padronizem a estrutura e escala dos projetos agrovoltáticos, além de incentivar pesquisas aplicadas que possibilitem o aprimoramento da sinergia entre geração solar e produção agrícola.

A viabilidade econômica da energia fotovoltaica também está diretamente ligada à política regulatória e aos incentivos governamentais. Programas de financiamento, isenções fiscais e simplificação dos processos de conexão à rede elétrica têm sido fundamentais para estimular a adoção dessa tecnologia. Essas iniciativas não apenas reduzem o custo inicial para os consumidores, mas também criam um ambiente favorável para o crescimento do mercado de energia solar.

Outro aspecto relevante é a modularidade e escalabilidade dos sistemas fotovoltaicos, que permitem sua aplicação em diferentes contextos e necessidades. Desde pequenas residências até grandes complexos industriais, a energia solar pode ser dimensionada para atender demandas específicas, ampliando sua flexibilidade e atratividade. Essa característica faz com que a tecnologia seja adaptável a uma ampla gama de cenários, maximizando seu potencial de uso.

Apesar dos desafios, como a intermitência da fonte solar e a necessidade de armazenamento, o desenvolvimento de tecnologias complementares, como baterias de alta capacidade e sistemas de automação, tem contribuído para superar essas limitações. Essas inovações não apenas aumentam a eficiência dos sistemas solares, mas também melhoram a experiência do usuário, tornando a energia fotovoltaica uma solução ainda mais robusta e confiável.

Por fim, este estudo conclui que a energia fotovoltaica representa uma oportunidade única para transformar a maneira como a sociedade gera e consome energia. Sua viabilidade econômica, aliada aos benefícios ambientais e sociais, reforça sua posição como uma das principais alternativas para o futuro da matriz energética global. Com o suporte de políticas públicas e o avanço tecnológico, a energia solar tem o potencial de desempenhar um papel central na transição para um modelo energético mais sustentável, resiliente e inclusivo.

## REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA (ANEEL). Registros de Micro e Minigeradores distribuídos efetivados. Brasília, 2016.

AGUIAR, Valter Carlos. Sistema automatizado de irrigação e monitoramento para plantas em ambientes indoor. 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Relatório: Perdas de Energia na Distribuição. Brasília, DF, 2019. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia\\_+Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2019-02-07.pdf/d7cc619e-0f85-2556-17ff-f84ad74f1c8d..](https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia_+Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2019-02-07.pdf/d7cc619e-0f85-2556-17ff-f84ad74f1c8d..)

ARAUJO, Luiz Eduardo Diniz. Microgeração de energia elétrica: análise comparada. 2021.

AROONSRIMORAKOT, S. et al. Solar panel energy technology for sustainable agriculture farming: A review. International Journal of Agricultural Technology, v. 16, n. 3, p. 553-562, 2020.

BATISTA, W. A. et al. Energias Sustentáveis: a viabilidade econômico financeira da utilização de energia solar no Brasil. FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão, Franca, v. 23, ed. 3, p. 275-290, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unifacef.com.br/index.php/facefpesquisa/article/view/1865>.

BEZERRA, F. D. Energia solar. Caderno Setorial ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 5, n.110, mar. 2020. (Série Caderno Setorial ETENE, n.110). Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/documents/80223/6888946/110\\_Energia+Solar.pdf/da714c4b-2e47-825b-1bc6-6389432166f1](https://www.bnb.gov.br/documents/80223/6888946/110_Energia+Solar.pdf/da714c4b-2e47-825b-1bc6-6389432166f1).

CHIARELLO, Gabriel Felipe; SANTOS, Thiago Miranda dos; O SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO UMA ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVÁVEL COM MENOR IMPACTO AMBIENTAL. 2018.

COSTA, Jacinta da. Simulação de rede IOT para aprimorar o uso de energia elétrica em ambiente residencial. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

EKER, Bülent. Solar powered water pumping systems. Trakia Journal of Sciences, v. 3, n. 7, p. 7-11, 2005.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese 2021, ano base 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2020, 73 p. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico588/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2021\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf).

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: Carneiro, Joaquim; Passos, Mário. Sistemas fotovoltaicos, fundamentos sobre dimensionamento, 2020.

FARIAS, Leonel Marques. SELLITTO, Miguel Afonso. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas. Revista Liberato, v. 12, nº 17, p. 1-106. Novo Hamburgo. Jan/jun 2011. Disponível em: <  
<http://profadanielle.com.br/site/wpcontent/uploads/2017/02/Uso-de-Energia.pdf>>

FEITOSA NETO, S. A. Prefácio. In: PRADO JUNIOR, F. A. A.; LEONE FILHO, M.; PEREIRA, O. L. S. Integração de Renováveis Intermitentes: um modelo de simulação da operação do sistema elétrico brasileiro para apoio ao planejamento, operação, comercialização e regulação. 1ª ed. Rio de Janeiro: Synergia, p. 11-16, 2020.

FERREIRA: Teixeira, A ENERGIA FOTOVOLTAICA NA PRESERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. 2015.

FREITAS BRITO, Merivaldo; DE LIMA, Lutero Carmo; BATISTA, Natasha Esteves. Uso da inteligência artificial na segurança contra incêndio em sistema solar fotovoltaico. Research, Society and Development, v. 12, n. 14, p. e106121444567-e106121444567, 2023.

GORJIAN, Shiva et al. On-farm applications of solar PV systems. In: Photovoltaic solar energy conversion. Academic Press, 2020. p. 147-190.

Grupo de trabalho de engenharia solar – GTES, 2014, <https://www.epe.gov.br/pt>, acessado em agosto de 2023.

GUARAGNIO, Fabio Rodrigues. Energia solar na agricultura de Nova Petrópolis. [Online]. 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/180180>. Acesso em 02/08/2022.

IEA – International Energy Agency. Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025. Paris, 2020. Disponível em: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/1a24f1fec971-4c25-964a-57d0f31eb97b/Renewables\\_2020-PDF.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/1a24f1fec971-4c25-964a-57d0f31eb97b/Renewables_2020-PDF.pdf).

LIMA, A. 1 Vídeo (10 min). Planilha Excel para Dimensionamento Sistema On-Grid. Publicado pelo canal Curso Elétrica e Cia, 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Jw4lh0UxA5Q>.

LIU, Wen et al. A novel agricultural photovoltaic system based on solar spectrum separation. Solar energy, v. 162, p. 84-94, 2018.

MARIANO, Daniele Cristina Lopes et al. Análise de mercado de sistemas de energia solar fotovoltaica com ênfase na área rural brasileira. Research, Society and Development, v. 12, n. 2, p. e7612239830-e7612239830, 2023.

Marques, Fernando. Energia Solar Fotovoltaica, Enfoque Multidisciplinar / 2019.

MARTINS, Ricardo Ramos et al. Secador de grãos com uso de energia solar. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. Porto Alegre, v. 3, n. 1, 2002.

Mekhilef, S., Faramarzi, S. Z., Saidur, R. and Salam, Z. (2013). The application of solar technologies for sustainable development of agricultural sector. Renewable and sustainable energy reviews, 18:583-594.

MELO, Anderson Rodrigues de et al. Desenvolvimento de um sistema supervisorio aplicado em uma usina de geração de energia solar fotovoltaica. 2020.

MIKI, André Jun. Energia Fotovoltaica em Comunidade Isolada no Amazonas. Editora Appris, 2019.

MME – Ministério de Minas e Energia; EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Nacional de Energia 2050: Versão para consulta pública. Rio de Janeiro: EPE, 2020, 9 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes/dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>.

NEVES, Filipe Gabriel Gama Rodrigues; ROCHA, Carlos Frederico Duarte. A Evolução da Energia Solar na Matriz Elétrica Brasileira.: Perspectivas de Implementação e Impacto Positivo na Sustentabilidade. Editora Appris, 2021.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. SINDAT: Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do SIN. 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas#>.

PEREIRA, D. S.; SILVA NETO, R. Diversificação de fontes geradoras da matriz elétrica brasileira: uma revisão sistemática. Meio Ambiente (Brasil), v.3, n.1, p.02 21, 27 nov. 2020. Disponível em: <https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/75>. Acesso em: 23 mar. 2021.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PEREIRA, N. X. Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Geração Distribuída vs Geração Centralizada. Orientador: Prof. Dr. Antônio Cesar Germano Martins. 2019. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2019. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181288/pereira\\_nx\\_me\\_soro.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181288/pereira_nx_me_soro.pdf?sequence=3&isAllowed=y).

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 2014.

RELLA, Ricardo. Energia Fotovoltaica no Brasil. Revista de Iniciação Científica, Criciúma, v. 15, n. 1, 2017 | ISSN 1678-7706

RHUTER, RICARDO; X. A. PINTO, GUSTAVO; F. NASPOLINI, Helena. Impactos da Agregação da Energia Solar Fotovoltaica sobre as despesas com Energia Elétrica, 2019.

ROSSI, Victor Soares. Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias: Levantamento de Estado da Arte Tecnológico, Aplicações e Desafios. 2023

RÜTHER, R. Edifício solares fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil. Florianópolis: Editora UFSC / LABSOLAR, 2004. Livro disponível online.

SANTOS, Conrado Cruz dos. Estratégias de eficiência energética para habitações de interesse social. 2023.

SARMENTO, Arthur Ichi Costa et al. Projeto em internet das coisas aplicada a um cenário residencial visando a melhor implementação e experiência do usuário. 2021.

SCHNEIDER, K. and Schindele, S. )2018(. Agrophotovoltaics Goes Global: from Chile to Vietnam. Retrieved from [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/pressreleases/2018/18\\_18\\_ISE\\_e\\_PR\\_APV\\_international.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/pressreleases/2018/18_18_ISE_e_PR_APV_international.pdf).

SCHWADE, Alice Cristina. ZDANOWICS, José Eduardo. O desenvolvimento socioeconômico por meio da energia elétrica: o caso da COPREL. In: \_\_\_\_\_ Reflexão cooperativista. Nº 3. Agosto de 2014. Porto Alegre. Editora SESCOOP/RS. 2014. p. 25-29.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. 2006. Trabalho apresentado no V Congresso Brasileiro do Planejamento Energético. Brasília. 2006. Disponível em: < [http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/sbpe\\_2006.pdf](http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/sbpe_2006.pdf)>

SILVA, F. S. C.; HAYASHI, G. K.; SANGIULIANO, G. U. Sustentabilidade: Desafio 1 - Energia. Orientador: Dr. Arnoldo José de Hoyos Guevara. 2020. 41 p. Trabalho desenvolvido para a Disciplina de Sustentabilidade (Programa de Pós-Graduação em Administração e Programa de Pós-Graduação em Economia FEA/PUC-SP) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/eventos/bisus/d1-energia.pdf>.

SILVA, Hebert. Tecnologias e aplicações práticas de mobilidade. Editora Senac São Paulo, 2023.

SILVA, Mayara Batista da. Um estudo sobre a educação científica acerca da energia solar. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

SILVA, Miguel C. Brito, José A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa: 2006.

TOBIAS N. F Ruiz, Eduardo. Análise de Investimento em Projetos de Energia Solar Fotovoltaica. Geração Centralizada / 2021.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. (Coord.). EPE: Rio de Janeiro, 2016.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. Quím. Nova, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300019>. Disponível em: [scielo.br/j/qn/a/jKDr7jyNw7p5TcqDvXSfx3t/?lang=pt](http://scielo.br/j/qn/a/jKDr7jyNw7p5TcqDvXSfx3t/?lang=pt).

VILLALVA, Marcelo Gradella. Energia solar - conceitos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

XUE, Jinlin. Photovoltaic agriculture-New opportunity for photovoltaic applications in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 73, p. 1-9, 2017.

YAMASOE, Marcia Akemi; DE PAULA CORRÊA, Marcelo. Processos radiativos na atmosfera. Oficina de Textos, 2016.