Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.12, 2024
ISSN 2178-6925

# BARREIRAS TÉCNICAS E ECONÔMICAS NA ADOÇÃO DA ENERGIA SOLAR: UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

# TECHNICAL AND ECONOMIC BARRIERS IN THE ADOPTION OF SOLAR ENERGY: A BIBLIOGRAPHICAL STUDY

**Marcelo Vinicius Lemos Wanderley**
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-4453-9106
Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Gurupi - UnirG
Gurupi/TO, Brasil
E-mail: marcello.vinicius@hotmail.com

**Patrick Peres Oliveira**
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6913-650X
Engenheiro Civil e Mestre em Ciências Florestais e Ambientais
Professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Gurupi - UnirG
Gurupi/TO, Brasil
E-mail: patrick@unirg.edu.br

## Resumo

A energia solar é uma fonte de energia renovável que utiliza a radiação emitida pelo sol a fim de fornecer eletricidade ou calor. Considerada uma das alternativas mais limpas e sustentáveis, esta fonte desempenha um papel crucial na transição energética global, ao apresentar-se como alternativa para redução da dependência de combustíveis fósseis e mitigação dos impactos no que tange às mudanças climáticas. Apesar de tal importância e crescimento no Brasil, a energia solar tem enfrentado, desde o seu surgimento, diversos obstáculos e desafios, no campo da implementação, adaptação, continuidade ou de custo. Diante desse cenário, este estudo tem o objetivo de identificar os principais obstáculos econômicos e técnicos da energia solar em território brasileiro, bem como apontar possíveis medidas para a minimização das barreiras. A metodologia consiste em uma revisão bibliográfica de cunho qualitativo e natureza exploratória. Quanto aos resultados, verificou-se que dentre as barreiras técnicas se destacam a intermitência e armazenamento de energia, eficiência limitada dos painéis solares, manutenção e durabilidade e integração à rede elétrica. Nas barreiras econômicas têm-se o alto custo inicial, longo prazo de retorno, falta de incentivos governamentais e financiamento e acesso ao crédito. A oferta de financiamento acessível, incentivos governamentais, programas de inclusão e novas tecnologias, bem como melhorias na eficiência dos painéis até o aprimoramento das redes elétricas e do armazenamento de energia, estão entre as soluções apontadas.

**Palavras-chave:** Energia solar; Barreiras; Economia; Alternativas.

## Abstract

Solar energy is a renewable energy source that harnesses radiation emitted by the sun to provide electricity or heat. Considered one of the cleanest and most sustainable alternatives, this source plays a crucial role in the global energy transition, presenting itself as an option to reduce dependence on fossil fuels and mitigate the impacts of climate change. Despite its importance and growth in Brazil, solar energy has faced various obstacles and challenges since its emergence, particularly in terms of implementation, adaptation, continuity, or cost. In this context, this study aims to identify the main economic and technical barriers to solar energy in Brazil, as well as to propose possible measures to minimize these barriers. The methodology consists of a qualitative and exploratory literature review.

Regarding the results, it was found that among the technical barriers, the most prominent are energy intermittency and storage, limited efficiency of solar panels, maintenance and durability issues, and integration with the power grid. The economic barriers include high initial costs, long payback periods, lack of governmental incentives, and difficulties in financing and access to credit. Among the solutions proposed are accessible financing, government incentives, inclusion programs, new technologies, and improvements in panel efficiency, as well as advancements in the electrical grid and energy storage.

**Keywords:** Solar energy; Barriers; Economy; Alternatives.

## 1. Introdução

Existem no mundo diversas fontes de energia, como a energia eólica (envolve a captura da energia cinética do vento por meio de turbinas eólicas e converte em eletricidade), a energia hidrelétrica (envolve a conversão da energia potencial da água em energia elétrica por meio de barragens e turbinas) e a energia nuclear (fonte de energia de baixa emissão de carbono que gera eletricidade por meio de reações nucleares em usinas nucleares). Além destas, para fins desse estudo, encontra-se a energia solar.

De acordo com Dias (2024), a energia solar é uma fonte de energia renovável que utiliza a radiação solar para gerar eletricidade ou calor. Considerada uma das alternativas mais limpas e sustentáveis, a energia solar desempenha um papel crucial na transição energética global, ao oferecer uma solução para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos das mudanças climáticas. Existem diferentes tecnologias para capturar e converter a energia solar em formas utilizáveis, sendo as principais, os painéis solares fotovoltaicos e os sistemas de aquecimento solar.

Conforme exposto pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, com mais de 48 GW de capacidade instalada, a solar fotovoltaica é a segunda principal fonte do Brasil, respondendo por mais de 20% da matriz elétrica brasileira. Essa potência é dividida em 15,6 GW de geração centralizada, segmento composto por grandes usinas, e 32,6 GW de geração distribuída, mercado formado por sistemas residenciais e comerciais de menor porte. (ABSOLAR, 2014; SENA, 2023).

No Brasil, o verdadeiro marco para o crescimento da energia solar no Brasil veio a partir da década de 2010, com a criação de uma regulação específica para a geração distribuída e incentivos econômicos que impulsionaram a adoção em

larga escala. Nesse período, foi instituído a Resolução Normativa nº 482 de 2012, que permite aos consumidores gerarem sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, como a solar, e compensarem o excedente na conta de luz, por meio do chamado sistema de compensação de energia (*net metering*), ação crucial para popularizar a geração distribuída em residências, comércios e indústrias (BRASIL, 2012).

A primeira grande usina solar comercial do Brasil, localizada em Tauá, no Ceará, foi inaugurada em 2011 pela empresa MPX, marcando um avanço importante na produção de energia solar em larga escala no país. A partir de 2014, o governo brasileiro começou a realizar leilões específicos para projetos de energia solar, permitindo que empreendimentos solares competissem com outras fontes de energia para vender eletricidade ao sistema interligado nacional, ação que elevou significativamente o número de usinas solares em todo o território nacional (BOTELHO; PAULA, 2022).

Apesar de tal relevância e crescimento no Brasil, a energia solar tem enfrentado, desde o seu surgimento, diversos obstáculos e desafios, seja de implementação, adaptação, continuidade ou custo. Carvalho (2024) relata que a produção de energia solar depende das condições climáticas e do ciclo diário, com ausência de geração no período noturno e produção reduzida em dias nublados ou chuvosos, contexto que gera a necessidade de implantar sistemas de armazenamento por meio de baterias ou através de fontes energéticas complementares.

Frente a esse cenário, buscou-se responder a seguinte indagação: quais as barreiras técnicas e econômicas enfrentadas pela energia solar no Brasil? Neste sentido, o objetivo geral desse estudo consiste em identificar os principais obstáculos econômicos e técnicos da energia solar em território brasileiro, bem como apontar possíveis soluções a fim de minimizar tais efeitos.

## 2. Metodologia

O método empregado foi o dedutivo, onde parte da compreensão da regra geral para então compreender os casos específicos. A metodologia deste estudo consiste em uma revisão integrativa da literatura, ação que, segundo Marconi e

Lakatos (2021), integram, sistematizam e sintetizam conhecimentos, sobre um tema específico, a partir da análise de diversos estudos já existentes.

Em relação ao tipo de pesquisa, tratou-se de um levantamento bibliográfico, consultados nas bases do CAPES, Scielo e Google Acadêmico no ano de 2024. Como critérios de inclusão, foram consideradas as produções da literatura no referido período, disponíveis na íntegra online e selecionados os artigos na língua inglesa e portuguesa. Os critérios de exclusão foram artigos que não se adequaram ao tema proposto. A partir desse levantamento foram selecionados 15 artigos que incluíram estudos transversais, estudos de corte e revisões bibliográficas que relacionavam ao tema por ora proposto.

Como respaldo para a interpretação e análise dos artigos selecionados utilizou-se a abordagem qualitativa com metodologia descrita por Pereira et al. (2018). Ao considerar o propósito deste trabalho, busca-se responder à seguinte indagação: “Quais as barreiras técnicas e econômicas enfrentadas pela energia solar no Brasil?”.

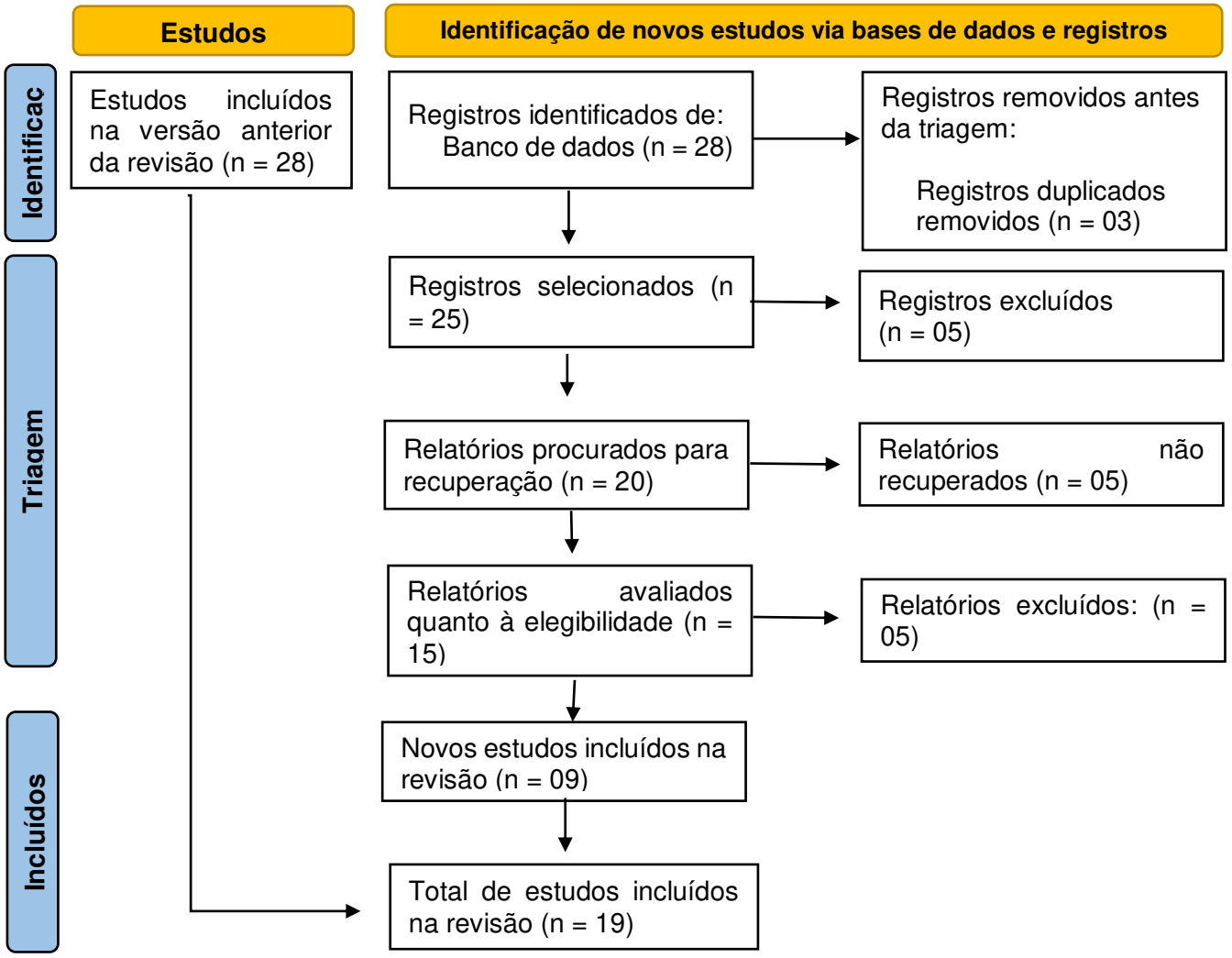
O processo de varredura realizou-se, a partir das palavras-chave: “Energia solar”; and “Barreiras econômicas”; and “Barreiras técnicas”, de modo que, somente foram aceitos os estudos que contemplassem a categoria alienadora com recorte temporal, publicadas a partir do ano de 2019.

As bases foram configuradas para localizar as referências que apresentavam os descritores supramencionados entre o título, as palavras-chave e/ou no resumo, a fim de viabilizar o alcance de resultados mais precisos.

O acesso as bases foram efetuadas por três juízes, onde no Fluxograma 1 a seguir é possível identificar os procedimentos para a seleção das informações, os critérios de inclusão e exclusão, dos artigos.

A coleta de dados foi realizada nas referidas fontes, por meio de descritores e palavras-chave, como as já citadas anteriormente. Abaixo, o fluxograma sobre o desenvolvimento da coleta dos dados:

Fluxograma 1 – Descrição da seleção dos estudos analisados na pesquisa




Fonte: Adaptado de MCKENZIE, J. E. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ** 2021;372: n 71. Disponível em: http://www.prisma-statement.org/. Acesso em: 01 out. 2024.

Os resultados foram apresentados e organizados através de tabelas que descreveram o título, os nomes dos autores e o ano em que o artigo foi publicado, o tipo de estudo e o objetivo. Para isso, utilizou-se o Microsoft Word para descrição dos resultados e discussão. A busca resultou em 28 artigos, que após utilização dos critérios de inclusão e exclusão, resultaram na seleção de 19 pesquisas para análise e discussão.

## 3. Resultados e Discussão

Os dados coletados por esse estudo se referem a discutir sobre a identificação das barreiras técnicas e econômicas da energia solar no Brasil. Para melhor entendimento sobre os resultados encontrados, apresenta-se o Quadro 1.

**QUADRO 1 –** Artigos analisados na revisão integrativa sobre a temática

| TÍTULO | AUTORES (ANO) | TIPO DE ESTUDO | OBJETIVO |
|---|---|---|---|
| Modelos de negócios nas empresas de serviços solares: barreiras e oportunidades | AZEVEDO, Rui Emanuel Flores Ramos da Costa (2022) | Estudo de Caso | Comparar a atratividade económica de dois modelos de negócios nas empresas solares na implementação de energia fotovoltaica. |
| Energia solar fotovoltaica como solução sustentável para a iluminação pública: análise de cenários e impactos econômicos | BARBOSA, Jardel de Souza Silva Costa (2024) | Estudo de Caso | Analisar a viabilidade da modernização do sistema de iluminação pública no município de Queluzito, Minas Gerais, por meio da implementação de tecnologias sustentáveis, através do Planeamento Energético Integrado. |
| Energias sustentáveis: a viabilidade econômico financeira da utilização de energia solar no Brasil | BATISTA, Washington André et al (2020) | Estudo de Caso | Analisar a viabilidade do investimento em uma fazenda de energia solar no Brasil baseando-se em análise de indicadores financeiros e de cenários. |
| Análise de barreiras que afetam a adoção de tecnologias voltadas à eficiência energética | BOTELHO, Moisés Phillip; PAULA, Istefani Carísio de (2022) | Estudo de Caso | Compreender aspectos que influenciam a tomada de decisão sobre implantação de Eficiência Energética em empresas. |
| Gerenciamento de riscos em projetos de energia solar e eólica | CARVALHO, Raissa Costa (2024) | Estudo de Caso | Analisar a implementação de um novo método de categorização de riscos em uma amostra de 20 projetos. |
| O papel das energias renováveis no cumprimento dos ODS: oportunidades e desafios | DIAS, Reinaldo (2024) | Estudo de Caso | Explorar o papel crítico das energias renováveis no avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com foco nas oportunidades e desafios que apresenta. |
| A implementação e os desafios interacionais da energia solar térmica em Sapucaias, Contagem (MG) | DUARTE, Eduardo Marques; MAGALHÃES, Cláudio Márcio (2021) | Estudo de Caso | Observar as dificuldades na implementação de programas em Energia Solar em comunidades economicamente desfavorecidas. |
| Barreiras para adoção de sistemas FV em condomínios | FRATE, Claudio Albuquerque; CARVALHO, Paulo | Estudo de Caso | Identificar barreiras e racionalidades na difusão da tecnologia FV em condomínios |

| | | | |
|---|---|---|---|
| residenciais: vozes de especialistas do Planalto Central do Brasil | Cesar Marques de (2023) | | residenciais verticais de Brasília. |
| Um debate sistemático sobre as políticas de fomento à energia solar fotovoltaica e as suas perspectivas | LEVATE, Paulo Vitor; FERREIRA, Lindomayara França; GONÇALVES, Eduardo (2022) | Revisão Sistemática da Literatura | Discutir os processos de transição energética dos países, destacando as políticas destinadas ao estímulo da produção de energia solar fotovoltaica. |
| Estudo comparativo entre células solares perovskita e silicio | OLIVEIRA, Marco Antônio Junior Souza (2021) | Estudo Comparativo | Apresentar um estudo com uma projeção inicial de viabilidade econômica e de eficiência energética semicondutor Perovskit. |
| Energia fotovoltaica: avanços, potencialidades e desafios para uma transição sustentável | PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. (2024) | Estudo de caso | Examinar a solução emergente de energia solar fotovoltaica (SFV) na transição energética global. |
| Uma análise multicritério de barreiras na logística reversa de módulos fotovoltaicos | RICCI, Mayara Rohenkohl et al (2022) | Estudo de caso | Discutir a incorporação do método DEMATEL para a análise de barreiras que influenciam a implementação de práticas de Logística Reversa de módulos fotovoltaicos. |
| Desafios e soluções para o armazenamento de energia renovável | SANTOS, Diego Resende et al (2023) | Estudo de caso | Analisar sobre formas de melhorar a eficiência energética e reduzir as perdas durante o armazenamento de energia renovável, destacando características e desafios associados. |
| Análise técnico-econômica de um sistema de geração de energia solar distribuída compartilhada para consumidores residenciais de baixa renda | SENA, Victor de Oliveira (2023) | Estudo de Caso | Analisar o consumo de energia em domicílios de baixa renda em Ouro Preto, focando em uma avaliação técnico-econômica apoiada por um Planejamento Energético Integrado pelo lado da oferta. |
| A adoção da energia solar como fator para eficiência energética, com ênfase na implementação de usinas solar fotovoltaica para alimentação do sistema de iluminação industrial | SILVA, Carla Almeida da, NETO, Antônio Pinto; FLORIAN, Fabiana. (2022) | Estudo Experimental | Analisar o impacto da iluminação em espaços exteriores através de geração fotovoltaica autônoma. |
| Análise de viabilidade econômica de um sistema solar fotovoltaico para minigeração distribuida de eletricidade: caso | SILVA, Frankysia Faria da. (2022) | Estudo de caso | Analisar a viabilidade econômica de implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Cuiabá-MT. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| UFMT, Campus Cuiabá – MT | | | |
| Gerenciamento de energia em tempo real da microrrede labrei | SILVA, Jéssica Alice Alves da, et al. (2024) | Estudo de Caso | Apresentar um estudo de caso realizado em uma microrrede real, chamada LabREI no Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes da UNICAMP, com o objetivo de minimizar os custos de operação e maximizar o uso da geração solar fotovoltaica. |
| . Impactos Sociais do Desenvolvimento de Energia Solar em Meios Urbanos: A Importância da Mudança de Rotina Após a Transição Energética: Estudo de Caso em Lisboa, Portugal | VASILEVA, Tereza Emilova (2023) | Estudo de caso | Explorar os benefícios das estratégias de Demand Side Management (DSM) e das mudanças de rotina nos agregados familiares que recorreram a sistemas solares fotovoltaicos. |
| Desafios e oportunidades da energia solar no Rio Grande do Sul, Brasil | VIANNA, Léia Maria Coelho (2023) | Estudo de Caso | Identificar os desafios e oportunidades da energia solar no Rio Grande do Sul. |

**Fonte:** O autor (2024).

Considerando a amostra analisada, os resultados obtidos por esse estudo, foram apresentados separadamente no intuito de facilitar o entendimento dos mesmos.

Em primeiro lugar, buscou-se encontrar quais as principais barreiras técnicas da implantação da energia solar, contexto em que Duarte e Magalhães (2021), citam a intermitência e armazenamento de energia, tendo em vista que a eficiência desta fonte energética está diretamente relacionada à presença de radiação solar, condição que pode interferir o fornecimento em dias nublados, o que exige sistemas de armazenamento de energia eficientes ou uma infraestrutura complementar de geração de energia para garantir o fornecimento constante, alternativas que, no presente momento, apresentam elevado custo de aquisição e desafios técnicos para instalação em larga escala.

No que se refere aos elementos que compõem o sistema, têm-se a eficiência limitada dos painéis solares. Nesse sentido, Azevedo (2022) destaca que embora os avanços tecnológicos tenham aumentado a precisão dos painéis convencionais, ao longo dos anos, tal elemento ainda apresenta deficiências em seu desempenho, tornando o processo limitado.

Outro exemplo desse cenário consiste na manutenção e durabilidade. Dias (2024) afirma que, embora os painéis solares exijam pouca manutenção em geral, estes ainda estão sujeitos ao desgaste e à degradação ao longo do tempo, especialmente em regiões onde predominam condições climáticas adversas, como tempestades de areia, neve, granizo ou alta umidade, bem como a infraestrutura associada - inversores e baterias - que requerem manutenções e substituições periódica.

No que tange a integração à rede elétrica, Botelho e Paula (2022) relatam que em muitos países, a infraestrutura da rede elétrica encontra-se inadequada para a integração de fontes intermitentes de energia, como a solar, fato que requer atualizações nas redes de distribuição, sistemas de controle e regulação de tensão, o que pode ser tecnicamente desafiador e gerar altos custos às concessionárias.

Além das barreiras técnicas, para fins desse estudo, analisou-se as de origem econômica. Sena (2023) aduz que o alto custo inicial é um dos principais fatores geradores de problemas no uso de energia solar. Embora os preços dos painéis solares tenham caído significativamente nos últimos anos, o custo inicial de instalação de um sistema fotovoltaico ainda é elevado para muitos consumidores. Isso inclui não apenas os painéis em si, mas também os custos de inversores, baterias (se necessárias), infraestrutura elétrica e a própria instalação.

Além disso, encontra-se o longo prazo de retorno, que Segundo Frate e Carvalho (2023) depende do custo da eletricidade local e da quantidade de luz solar disponível. Além disso, os autores destacam que em regiões onde a eletricidade convencional é barata, o tempo de retorno pode ser mais longo, desestimulando os consumidores a adotarem a tecnologia, especialmente aqueles com baixa disponibilidade financeira.

Carvalho (2024) em sua pesquisa, onde busca apontar os principais desafios econômicos da energia solar, afirma que em muitos lugares, os combustíveis fósseis ainda são altamente subsidiados, tornando suas tarifas artificialmente baixas e reduzindo a competitividade da energia solar. Esse cenário cria uma barreira econômica para a adoção em larga escala, uma vez que os consumidores tendem a optar pela alternativa com maior viabilidade financeira a curto prazo.

Batista et al. (2020) que buscaram analisar a viabilidade do investimento em uma fazenda de energia solar no Brasil baseando-se em análise de indicadores

financeiros e de cenários, afirmam que uma das principais barreiras para a implementação de energia solar é o financiamento e acesso ao crédito, que apresentam limitação em países ou regiões de menor desenvolvimento econômico, o que afeta diretamente os pequenos proprietários, as comunidades rurais e até mesmo empresas no que tange à disponibilização de crédito para o investimento em energia solar.

Apesar de tais barreiras, é possível também observar vantagens em ambas as situações analisadas. Vianna (2023) tencionou identificar os desafios e oportunidades da energia solar e conclui que a produção e o consumo de energia solar podem impulsionar a sustentabilidade, a eficiência energética e a economia, o que pode tornar o estado do Rio Grande do Sul mais competitivo e proporcionar benefícios à sociedade como um todo, no que diz respeito ao desenvolvimento econômico.

No entanto, ao que tange às dificuldades, a autora destaca desafios que incluem principalmente a dependência econômica dos locais para instalação da energia solar; a nova tarifa referente ao uso da distribuidora desde janeiro de 2023; a necessidade de uma mudança cultural com vistas à elevação da conscientização popular; e, a capacidade produtiva no estado ser inferior ao resto do país.

As barreiras econômicas da implantação de energia solar impactam diversos setores, não apenas o residencial ou empresarial. Silva (2022) que buscou analisar a viabilidade econômica de implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Cuiabá-MT. Para levantamento das principais barreiras e facilitadores foram realizadas entrevistas semiestruturadas e para análise dos dados usou-se a Análise de Conteúdo (AC) com assistência do software NVivo®. Os resultados do estudo indicaram que existem grandes barreiras a serem superadas, como custo de aquisição, falta de recursos financeiros e incentivos governamentais.

Contudo, ainda nessa pesquisa, notou-se que há diversos aspectos facilitadores, como o aumento da competitividade do mercado que tem provocado a redução dos preços, a geração de energia limpa e renovável e disponibilização de novos empregos. Após, realizou-se a análise de viabilidade econômica do projeto por meio dos seguintes indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback Descontado. Os resultados indicaram que é economicamente viável investir em SFCR para esta universidade, sendo que

possíveis aumentos nas tarifas de energia e de impostos podem tornar esse investimento ainda mais vantajoso (SILVA, 2022).

O emprego da energia solar em cidades tem demonstrado resultados positivos, como evidenciado pelo estudo de caso de Barbosa (2024), que avaliou a viabilidade de modernizar o sistema de iluminação pública em Queluzito - MG. A pesquisa sugere que a substituição das lâmpadas tradicionais por LED e o uso da energia solar fotovoltaica como principal fonte de eletricidade, por meio de um Planejamento Energético Integrado, é a alternativa mais vantajosa, gerando uma economia total de R$ 832.216,04 ao longo de 20 anos em comparação com o modelo atual da cidade.

A análise financeira, realizada com o modelo HOMER Pro, apontou um tempo de retorno de 5,12 anos para o investimento na usina solar e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 23,7%, evidenciando a rentabilidade elevada do projeto. Essa solução, além de proporcionar economia, promove a sustentabilidade ao reduzir as emissões de $CO_2$ associadas ao setor de iluminação pública.

Quanto aos desafios técnicos, soluções já estão disponíveis. Ricci et al. (2022) destacam que, para lidar com a intermitência da geração solar, o uso de baterias de alta capacidade é essencial para armazenar o excesso de energia gerado durante o dia, possibilitando seu uso noturno ou em períodos de baixa produção.No que se refere aos equipamentos, o autor cita as baterias de íon-lítio, como as usadas no *Tesla Powerwall*, por se apresentarem mais acessíveis e eficientes, assim como os sistemas híbridos, que consistem na integração de sistemas solares a outras fontes de energia, como eólica ou geradores a diesel, para garantir o fornecimento contínuo de energia.

Embora a eficiência dos painéis solares tenha melhorado ao longo do tempo, a maioria dos painéis comerciais ainda convertem, um percentual que varia entre 15% e 22% da energia solar em eletricidade, o que leva à compreensão que grandes áreas de painéis são necessárias para gerar quantidades significativas de energia. Quanto a isso, Oliveira (2021) aponta que pesquisas em células solares de perovskita estão mostrando promessas de maior eficiência, ao alcançar mais de 30% em testes laboratoriais, bem como células bifaciais (que captam luz solar em ambos os lados) e painéis de filme fino que encontram-se em fase de desenvolvimento, a fim de elevar a eficiências em diferentes condições climáticas.

Para excelentes resultados do sistema fotovoltaico, a conexão de sistemas solares à rede elétrica, especialmente em regiões remotas ou áreas urbanas densamente povoadas, pode ser considerado um desafio técnico. Diante disto, Silva et al. (2024) menciona o *microgrids*, tecnologia que permite a operação de forma independente da rede elétrica principal, dado que tal sistema será alimentado por uma combinação de fontes solares, baterias e geradores de backup, elementos particularmente úteis em áreas remotas ou em situações onde a rede principal não pode ser facilmente expandida.

Ao considerar as diferentes condições climáticas regionais, entende-se que os painéis solares apresentam oscilações no que se refere à eficiência de captação, principalmente quando exposto a altas temperaturas, o que consiste em um paradoxo, visto que regiões mais ensolaradas e quentes geralmente têm maior potencial para energia solar. Santos et al. (2023) destacam que tecnologias de resfriamento passivo, como a utilização de materiais que refletem o calor ou designs que permitem maior ventilação, ajudam a reduzir a temperatura dos painéis, mantendo sua eficiência. Em situações onde o resfriamento passivo não é suficiente, podem ser utilizados sistemas de resfriamento ativo, como circuitos de água ou ar que dissipam o calor dos painéis, melhorando sua eficiência em climas quentes.

Paixão et al. (2024) acreditam que, no campo econômico, uma das principais soluções para o alto custo inicial dos sistemas solares consiste na oferta de linhas de crédito com juros baixos para sua aquisição, com bancos e instituições financeiras, tanto públicas quanto privadas, oferecendo financiamentos específicos para energia solar que permitem diluir o custo em parcelas mensais acessíveis, o que torna o investimento viável para consumidores residenciais e empresariais.

Silva, Neto e Florian (2022) afirmam que a contínua queda dos preços dos painéis solares e de outros componentes, impulsionada por avanços tecnológicos e economias de escala, tem elevado o retorno sobre o investimento ao reduzir o tempo necessário para sua recuperação. Com o aumento da eficiência dos painéis, mais energia é gerada com a mesma quantidade de luz solar, aumentando a economia de energia para o consumidor e diminuindo ainda mais o tempo de payback.

Para Levate, Ferreira e Gonçalves (2022), o desenvolvimento de programas de microcrédito voltados aos pequenos agricultores e comunidades rurais pode facilitar o acesso a financiamento para sistemas solares de pequeno porte.

Organizações não-governamentais (ONGs) e cooperativas também podem desempenhar um papel importante nesse processo. Em algumas regiões, sistemas solares podem ser financiados e geridos de forma coletiva, por meio de cooperativas que podem reduzir os custos individuais e distribuir os benefícios da energia solar para comunidades inteiras.

Tão importante quanto analisar a energia solar na questão técnica e econômica, é também observar o seu impacto no âmbito social. Nesse sentido, Vasileva (2024) explica que os governos desempenham um papel vital tanto na promoção, quanto na adoção desta alternativa energética, através de incentivos e medidas políticas, enquanto a educação capacita os indivíduos a fazerem escolhas informadas. No entanto, é importante destacar o reconhecimento quanto à necessidade de mudanças de rotina, a fim de maximizar os benefícios do sistema fotovoltaico, de modo que seja possível concluir que a transição energética é inevitavelmente acompanhada por alterações fundamentais nas rotinas e hábitos cotidianos.

## 4. Conclusão

A adoção da energia solar enfrenta uma série de barreiras técnicas e econômicas que variam conforme o contexto regional, o grau de desenvolvimento econômico e o avanço tecnológico disponível, dificultando sua ampla implementação. Entre as barreiras técnicas, destacam-se a intermitência e o armazenamento de energia, a eficiência limitada dos painéis solares, além de desafios relacionados à manutenção, durabilidade e integração à rede elétrica. Já entre as barreiras econômicas, encontram-se os altos custos iniciais, o longo prazo de retorno, a falta de incentivos governamentais, financiamentos e o acesso ao crédito.

Para enfrentar essas limitações, soluções como financiamento acessível, incentivos governamentais, programas de inclusão e novas tecnologias têm tornado a energia solar cada vez mais viável, tanto para consumidores individuais quanto para empresas. À medida que os custos de produção continuam a cair e as políticas de incentivo se expandem, o potencial de crescimento da energia solar no Brasil e no mundo se amplia, contribuindo para uma matriz energética mais limpa e

sustentável.

Além disso, as inovações tecnológicas e o desenvolvimento contínuo de soluções avançadas têm transformado o cenário das barreiras técnicas. Melhorias na eficiência dos painéis solares, o aprimoramento das redes elétricas e o avanço no armazenamento de energia estão promovendo uma evolução constante no setor, possibilitando à energia solar um papel cada vez mais relevante na matriz energética global e no caminho para um futuro mais sustentável.

Portanto, embora as barreiras existam, o potencial de crescimento da energia solar é imenso devido à sua natureza limpa e renovável. Superar essas barreiras exigirá investimentos contínuos em tecnologia, políticas públicas eficazes e uma mudança cultural em prol de fontes de energia sustentáveis, com a redução de custos de produção e o aperfeiçoamento de tecnologias de armazenamento como elementos essenciais para acelerar sua adoção em larga escala.

## Referências

ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Dados do mercado de energia solar no Brasil**. 2024. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html. Acesso em: 10 out. 2024.

AZEVEDO, Rui Emanuel Flores Ramos da Costa. **Modelos de negócios nas empresas de serviços solares: barreiras e oportunidades**. Estudo apresentado ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Finanças Empresariais. Porto, 2022.

BARBOSA, Jardel de Souza Silva Costa. **Energia solar fotovoltaica como solução sustentável para a iluminação pública: análise de cenários e impactos econômicos**. 2024. 58 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024.

BATISTA, Washington André et al. Energias sustentáveis: a viabilidade econômico financeira da utilização de energia solar no Brasil. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, v. 23, n. 3 - dez 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 abr. 2012. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

BOTELHO, Moisés Phillip; PAULA, Istefani Carísio de. **Análise de barreiras que afetam a adoção de tecnologias voltadas à eficiência energética**. ENEGEP. XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. “A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil”. 12(1), p. 1-19; 2022.

CARVALHO, Raissa Costa. **Gerenciamento de riscos em projetos de energia solar e eólica**. 2024. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

DIAS, Reinaldo. O papel das energias renováveis no cumprimento dos ODS: oportunidades e desafios. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, 5(1), e514845; 2024.

DUARTE, Eduardo Marques; MAGALHÃES, Cláudio Márcio. A implementação e os desafios interacionais da energia solar térmica em Sapucaias, Contagem (MG). **Revista Tecnologia e Sociedade**. 17(47), p. 1-15; 2021.

FRATE, Claudio Albuquerque; CARVALHO, Paulo Cesar Marques de. Barreiras para adoção de sistemas FV em condomínios residenciais: vozes de especialistas do Planalto Central do Brasil. **Revista Brasileira de Energia**. vol. 29, nº 2; 2023.

LEVATE, Paulo Vitor; FERREIRA, Lindomayara França; GONÇALVES, Eduardo. Um debate sistemático sobre as políticas de fomento à energia solar fotovoltaica e as suas perspectivas. **Revista BRSA**. 12(02), p. 1-15; 2022.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 9º ed. Editora: Atlas, 2021.

OLIVEIRA, Marco Antônio Junior Souza. **Estudo comparativo entre células solares perovskita e silicio**. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Contagem, 2021.

PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. Energia fotovoltaica: avanços, potencialidades e desafios para uma transição sustentável. **Revista Editora Científica**. 16(1), p. 1-18; 2024.

RICCI, Mayara Rohenkohl et al. **Uma análise multicritério de barreiras na logística reversa de módulos fotovoltaicos**. XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. "Contribuição da Engenharia de Produção para a Transformação Digital da Indústria Brasileira" Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2022.

SANTOS, Diego Resende et al. Desafios e soluções para o armazenamento de energia renovável. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(4), p. 76-88; 2023.

SENA, Victor de Oliveira. **Análise técnico-econômica de um sistema de geração de energia solar distribuída compartilhada para consumidores residenciais de baixa renda**. 2023. 72 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

SILVA, Carla Almeida da, NETO, Antônio Pinto; FLORIAN, Fabiana. A adoção da energia solar como fator para eficiência energética, com ênfase na implementação de usinas solar fotovoltaica para alimentação do sistema de iluminação industrial.

**RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, 3(1), e3122484; 2022.

SILVA, Frankysia Faria da. **Análise de viabilidade econômica de um sistema solar fotovoltaico para minigeração distribuida de eletricidade: caso UFMT, Campus Cuiabá – MT**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2022.

SILVA, Jéssica Alice Alves da, et al. Gerenciamento de energia em tempo real da microrrede labrei. **Anais Congresso Brasileiro De Energia Solar** - CBENS. 1(12), p. 1-15; 2024.

VASILEVA, Tereza Emilova. **Impactos Sociais do Desenvolvimento de Energia Solar em Meios Urbanos: A Importância da Mudança de Rotina Após a Transição Energética: Estudo de Caso em Lisboa, Portugal**. Mestrado em Antropologia e Especialização em Culturas Visuais. Lisboa, 2023. Disponível em: https://www.proquest.com/openview/cce20e0cbc296fba50d7375f9cfcef36/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y. Acesso em: 01 out. 2024.

VIANNA, Léia Maria Coelho. **Desafios e oportunidades da energia solar no Rio Grande do Sul, Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no primeiro semestre de 2023 ao Departamento de Economia e Relações Internacionais da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas. Florianópolis, 2023.