

## **ENERGIA FOTOVOLTAICA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: Uma revisão integrativa da produção científica de 2020 a 2024**

**ANA LAURA PASSONI**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS - PUCMG

**MARIA VICTÓRIA CORREA RAMOS**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS - PUCMG

**LUIS OTÁVIO DA SILVA**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS - PUCMG

**KELSEY MILLER CARVALHO FILHO**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS - PUCMG

**LEANDRO CARVALHO BASSOTTO**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS - PUCMG

### **Introdução**

A energia fotovoltaica é fonte limpa, renovável e de baixo custo, com crescente relevância no cenário mundial. Vincula-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente ao ODS 7, e apresenta potencial para reduzir emissões, ampliar o acesso à eletricidade e contribuir ao desenvolvimento econômico, social e ambiental. No Brasil, apesar do potencial, enfrenta entraves políticos e estruturais.

### **Problema de Pesquisa e Objetivo**

Com esta pesquisa, busca-se responder: Quais são os principais desafios, impactos e contribuições da literatura científica sobre energia fotovoltaica em relação à sustentabilidade? O objetivo deste artigo é analisar a produção científica sobre energia fotovoltaica, identificando contribuições, impactos e desafios existentes no setor.

### **Fundamentação Teórica**

A energia fotovoltaica é reconhecida como vetor do desenvolvimento sustentável ao reduzir emissões, gerar economia e ampliar o acesso à eletricidade. Elgamal e Demajorovic (2020) evidenciam que, no Brasil, a expansão do setor enfrenta barreiras políticas e regulatórias, limitando seu potencial. Já Tiba e Belaid (2021) mostram que fontes renováveis impulsionam crescimento econômico e inclusão social em países africanos. Esses estudos reforçam que políticas públicas consistentes e inovação tecnológica são determinantes para consolidar a energia solar.

### **Metodologia**

A pesquisa adota abordagem qualitativa, descritiva e revisão integrativa da literatura, contemplando artigos publicados entre 2020 e 2024. A coleta ocorreu em bases como SciELO, Portal CAPES, Spell e Wiley, com descritores ligados à energia fotovoltaica e sustentabilidade. Foram selecionados 20 artigos, dos quais 10 alinhados ao tema compuseram a análise. O processo envolveu categorização, comparação e elaboração de um framework, permitindo mapear tendências, lacunas e contribuições da produção científica recente.

### **Análise e Discussão dos Resultados**

A análise revelou que a energia fotovoltaica contribui para avanços econômicos, sociais e ambientais, consolidando-se como alternativa estratégica para a sustentabilidade. Entre as principais contribuições, destacam-se a redução de emissões, a ampliação do acesso à eletricidade e a promoção de inclusão social. Contudo, persistem desafios, como políticas públicas fragmentadas, barreiras tributárias e ausência de financiamento. Também foram identificadas lacunas na integração entre inovação tecnológica, teoria e aplicação prática.

### **Considerações Finais**

O estudo evidenciou que a energia fotovoltaica apresenta contribuições significativas para o desenvolvimento sustentável, fortalecendo dimensões econômicas, sociais e ambientais. Contudo, desafios como a falta de políticas públicas consistentes, barreiras tributárias e ausência de incentivos ainda limitam sua expansão. Identificaram-se lacunas na integração entre teoria, tecnologia e prática, apontando a necessidade de novos estudos que articulem inovação, governança e aplicabilidade em diferentes contextos.

### **Referências**

ELGAMAL, N. G.; DEMAJOROVIC, J. As barreiras e perspectivas para geração de energia elétrica por painéis solares fotovoltaicos na matriz energética brasileira. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 9, n. 1, p. 1-28, 2020. TIBA, S.; BELAID, F. Modeling the nexus between sustainable development and renewable energy: The african perspectives. *Journal of Economic Surveys*, v. 35, p. 307-329, 2021.

### **Palavras Chave**

ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), Incentivos institucionais, Usinas fotovoltaicas

### **Agradecimento a órgão de fomento**

Os autores agradecem ao Fundo de Investimento em Pesquisa (FIP) da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas, pelo apoio financeiro, de recursos e pela concessão de uma bolsa de iniciação científica à primeira autora, fundamental para a realização desta pesquisa. Este apoio foi crucial para que o presente trabalho fosse possível.

# ENERGIA FOTOVOLTAICA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UMA REVISÃO INTEGRATIVA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA DE 2020 A 2024

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e utilização de energia renovável está em expansão (Mello; Costa; Fortes, 2023). A energia fotovoltaica torna o sistema elétrico mais seguro e sustentável, por ser uma fonte de energia inesgotável e limpa. Também abrange um quesito social pois, segundo Mello, Costa e Fortes (2023), os painéis solares convertem a energia do sol em eletricidade por meio das células fotovoltaicas, podendo levar eletricidade a locais de acesso reduzido. Sua utilização acarreta muitos benefícios, visto que, além da sustentabilidade, há uma redução do seu custo de produção tornando-a mais vantajosa do que a energia convencional.

O consumo excessivo e a degradação do meio ambiente são fatores que contribuem para o aquecimento global trazendo consequências prejudiciais para toda a sociedade mundial (Carvalho; Machado; Meirelles, 2011). A energia fotovoltaica criada por volta dos anos de 1950 é uma forma sustentável de se produzir energia elétrica, a qual vem mostrando grande potencial de crescimento e trazendo muitas vantagens como: baixo custo; confiabilidade alta; facilidade de instalação e manutenção; menor degradação do meio ambiente (em comparação a outros sistemas); fonte de energia renovável e mais barata, quando comparadas a usinas movidas por combustíveis fósseis. (Chaves, 2021).

A utilização de energia fotovoltaica promove benefícios a curto e longo prazos, uma vez que reduz os custos, fomenta a economia e traz impactos positivos para as pessoas, instituições e para a natureza. Segundo Lajara *et al.* (2023), sua utilização é essencial pois auxilia na redução dos impactos ambientais, sendo segura e sustentável, além de contribuir com a diminuição dos custos de produção das organizações, uma vez que a eletricidade solar costuma ser mais barata que aquela advinda de usinas hidrelétricas.

Desde o início da década de 1990, a ONU (Organização das Nações Unidas) tem incentivado o desenvolvimento sustentável mundial. Um dos principais motivos para essa iniciativa é a geração de empregos verdes, que movimentam a economia e têm um grande impacto social. Além disso, as ações a curto e longo prazos relacionados às mudanças climáticas também são fatores determinantes para essa mobilização global (Tiba; Belaid, 2021).

Em 2015, a ONU deliberou e propôs os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que compõem uma agenda mundial com o objetivo de guiar a humanidade até o ano de 2030 (ONU, 2015). Dentro desses objetivos, destaca-se a ODS 7 - Energia Acessível e Limpa, cuja importância tem se intensificado globalmente e junto a ele a energia fotovoltaica, que tem se consolidado como uma alternativa promissora diante da necessidade de diversificação da matriz energética e redução das emissões de gases de efeito estufa, impulsionada pelo avanço tecnológico e pelo contexto global de transição energética (Soares; Nade; Nascimento, 2021).

Segundo Tiba e Belaid (2021), o uso do sol como fonte de energia é um dos grandes benefícios das energias renováveis. O Brasil possui um grande potencial energético por meio da energia fotovoltaica (Pereira *et al.*, 2017). Por isso, a energia fotovoltaica é uma alternativa promissora que contribui para a redução dos gases do efeito estufa e diversifica a matriz energética (Soares; Nade; Nascimento, 2021). Nesse contexto, diversas instituições desempenham um papel essencial na promoção e implementação dessa tecnologia. As universidades desempenham um papel fundamental, não apenas como consumidoras de energia, mas também como agentes promotores de inovação e disseminação do conhecimento sobre fontes renováveis (Silva *et al.*, 2020). Outras organizações não governamentais (ONGs) e empresas privadas têm investido em projetos voltados para o desenvolvimento e acessibilidade da energia solar, fortalecendo o setor e ampliando seu impacto social, caso do

projeto Xingu Solar do Instituto Socioambiental (ISA), que leva energia fotovoltaica para cerca de 65 aldeias do Território Indígena do Xingu (TIX) (IEMA, 2019).

Segundo a Absolar (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), em 2024 mais de três milhões de residências no Brasil passaram a utilizar energia fotovoltaica. Esse número representa um aumento expressivo em relação aos anos anteriores, considerando que, em 2021, havia cerca de um milhão de unidades (Absolar, 2024). Esse crescimento de mais de 200% em apenas três anos evidencia a expansão acelerada no país.

Ao considerar esse panorama, a implementação da energia fotovoltaica em universidades é uma estratégia válida para auxiliar na diminuição da pegada de carbono das organizações, contribuindo também para a redução dos custos de operação e trazendo para as instituições uma imagem positiva e sustentável (Aristizábal; González, 2021). Segundo Tiba e Belaid (2021), a sociedade pode ser positivamente impactada quando as políticas institucionais e o investimento em fonte de recursos renováveis se aliam pelo benefício e desenvolvimento social.

Diante desse contexto, a presente pesquisa busca responder à seguinte questão: Quais são os principais desafios, impactos e contribuições da literatura científica sobre energia fotovoltaica em relação à sustentabilidade? O objetivo deste estudo é analisar a produção científica sobre energia fotovoltaica, sobre contribuições, impactos e desafios existentes no setor. Especificamente, propõe-se um framework de análise com uma agenda de estudos futuros

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A literatura recente tem explorado amplamente o papel da energia fotovoltaica (FV) tanto como solução energética quanto como vetor estruturante de desenvolvimento sustentável e políticas públicas consistentes. Os estudos demonstram uma preocupação clara com os mecanismos que viabilizam ou limitam a adoção da energia fotovoltaica, refletindo sobre o papel dos incentivos institucionais, regulatórios e estruturais nesse processo.

Aristizábal e González (2021) abordam o estudo da viabilidade da instalação de sistemas de energia FV no campus Robledo do Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), na Colômbia. Foram considerados três cenários com diferentes consumos de energia solar. As análises mostraram que o consumo de 100.000 quilowatt-hora (kWh) por mês é o mais vantajoso, com maior Taxa Interna de Retorno (TIR) e menores custos para a instalação operacional. Esse sistema também geraria uma redução de 95,41% das emissões de gases que contribuem para a acentuação do efeito estufa (GEE). A pesquisa conclui que o uso da energia fotovoltaica em instituições de ensino é muito positivo para imagem institucional, além de ambiental e economicamente benéfico.

Embora o estudo colombiano demonstre a alta viabilidade técnica e institucional da FV em um contexto específico, a implementação no Brasil enfrenta desafios distintos, especialmente no que tange à consistência regulatória.

Segundo Elgamal e Demajorovic (2020), apesar de possuir um excelente potencial para a ampla implementação de energia fotovoltaica por parte da população, o Brasil possui várias limitações. As políticas voltadas para esse setor são fragmentadas e frequentemente descontinuadas. A Resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) 482/2012 deu início a um sistema de compensação de energia (*net metering*), com descontos temporários nas tarifas de uso do sistema de distribuição e do sistema de transmissão no Brasil. No entanto, ainda é um avanço limitado, e a aplicação dessa resolução em projetos em 2017 não foi renovada com previsibilidade. Tais resultados demonstram que o Brasil ainda precisa evoluir mais em termos de políticas públicas consistentes, uma vez que existem países mais evoluídos nesse sentido, o que estimula a implementação e popularização de tecnologias limpas.

A importância de políticas e governança adequadas é reforçada por Tiba e Belaid (2021), que investigaram 25 países africanos e sugerem que uma boa governança e investimentos em energia limpa são peças fundamentais para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo o crescimento econômico e o acesso à energia para todos.

No contexto regulatório, a reforma tributária de 2016, que ocorreu na Colômbia, instituiu um imposto sobre o carbono no valor de \$15.000 COP (peso colombiano) por cada tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitida. Vigente desde 31 de dezembro de 2017, essa medida estimula a adoção de projetos de energia renovável ou que contribuam para a redução de gases do efeito estufa, permitindo que os emissores compensem o valor do imposto. Trata-se, portanto, de um mecanismo que promove o uso de tecnologias limpas no país.

Scolari e Strauhs (2024) analisaram como a geração de energia fotovoltaica (FV) pode contribuir para o alcance dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os autores observaram contribuições diretas, como o ODS 7 (energia limpa e acessível), ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e ODS 13 (ação contra as alterações climáticas), além de contribuições indiretas, como no ODS 4 (educação de qualidade). Essa visão está alinhada com as premissas da Organização das Nações Unidas (ONU), de que a energia solar representa uma alavanca para transformações sociais, econômicas e ambientais.

Kim et al. (2024), Gomes, Oliveira e Musci (2023) e Saadati e Barutcu (2025) abordam a eficiência dos sistemas fotovoltaicos a partir da compreensão de que desafios técnicos persistem e exigem respostas inovadoras. Kim et al. (2024) estudaram os impactos do sombreamento, observando que módulos *shingled* podem sofrer perdas significativas de eficiência. Gomes, Oliveira e Musci (2023) tratam o sombreamento de forma indireta ao considerar fatores ambientais que prejudicam a captação solar, como poeira e sujeira. Ambos os estudos propuseram soluções para aumentar a eficiência dos módulos fotovoltaicos, seja por meio de melhorias na estrutura, seja por ferramentas digitais que otimizam o posicionamento da placa.

A percepção de que mitigar perdas e aprimorar o desempenho energético não depende apenas de avanços materiais, mas também de soluções integradas entre tecnologia e inteligência de dados, é notável. Saadati e Barutcu (2025) revisaram métodos de previsão de energia solar com foco em técnicas de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina (ML), destacando seu papel na integração eficiente da energia solar às redes elétricas e na promoção da sustentabilidade. Modelos híbridos apresentaram o melhor desempenho nessas previsões. Modelos híbridos combinam abordagens estatísticas, físicas e de IA. Técnicas como Redes Neurais, Support Vector Machine (SVM), Long Short-Term Memory (LSTM) e Extreme Gradient Boosting (XGBoost) se destacam como exemplos de modelos híbridos.

Os autores que tratam da eficiência consideram-na não como um resultado fixo, mas como um alvo dinâmico. O conceito de alvo dinâmico refere-se à eficiência que é sensível a fatores ambientais, estruturais e operacionais e, que, portanto, demanda intervenções propositivas e estratégicas contínuas. Essa visão de otimizar sistemas fotovoltaicos é tida como uma tarefa multidimensional, que exige olhar técnico, capacidade de adaptação e inteligência na tomada de decisão.

### 3 METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa qualitativa e descritiva, utilizando a metodologia de revisão integrativa da literatura, que resume o conhecimento já existe e estudado enquanto mapeia as lacunas dentro das pesquisas e explorar novas direções, esse método de construção de trabalho é recomendado para a formulação de uma nova perspectiva teórica (Torraco, 2016) Trata-se de uma pesquisa em recorte longitudinal, uma vez que considera artigos entre os anos de 2020 a 2025. A coleta de dados ocorreu entre os meses de fevereiro e junho de 2025.

Os procedimentos metodológicos foram organizados em etapas. A primeira delas consistiu na seleção das bases de dados, escolhidas devido sua maior acessibilidade e quantidade de publicações brasileiras. Foram selecionadas as seguintes bases de indexação de artigos: SciELO, Portal CAPES, Spell e *Wiley Online Library*. O Quadro 1 apresenta uma síntese do procedimento metodológico adotado nesta pesquisa.

Quadro 1. Procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa

<b>Etapas</b>	<b>Procedimento</b>	<b>Descrição</b>
1 <sup>a</sup>	Seleção das bases de dados	Pesquisar bases de dados confiáveis e acessíveis, com maior quantidade de publicações brasileiras.
2 <sup>a</sup>	Pesquisar artigos	Pesquisar artigos nas bases de dados selecionadas utilizando os descritores chaves voltados ao tema.
3 <sup>a</sup>	Selecionar artigos	Selecionar os artigos, levando em consideração inicialmente o título do artigo e posteriormente o conteúdo do resumo.
4 <sup>a</sup>	Categorização dos artigos	Categorização dos artigos, registrando-os em uma planilha eletrônica e identificando seus elementos centrais: nome dos autores, o ano da publicação, objeto de pesquisa, técnica de análise dos dados, principais resultados, limitações da pesquisa e sugestões para estudos futuros.
5 <sup>a</sup>	Selecionar artigos utilizados na revisão integrativa	Selecionar os artigos levando em consideração o qual foi o objeto de estudo, a metodologia empregada e aspectos técnicos encontrados nos artigos.
6 <sup>a</sup>	Analisar artigos utilizados na revisão integrativa	Identificar os principais pontos abordados nos artigos selecionados; mapear as lacunas; explorar novas direções; comparar os artigos com tema semelhante, para chegar a resultados mais adequados à pesquisa.
7 <sup>a</sup>	Framework de análise	Análise dos resultados e construção do framework de análise.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A segunda etapa foi a pesquisa por artigos nas bases selecionadas. Para isso, utilizou-se os operadores booleanos “AND” e “OR”, aplicados a títulos, resumos e palavras-chave. Os artigos foram localizados nos idiomas: Inglês, Português e Espanhol, sendo utilizados os seguintes descritores: fotovoltaica instituições, parque solar, fotovoltaica, usinas fotovoltaicas, desenvolvimento sustentável, painéis solares. Os artigos foram selecionados segundo os seguintes critérios: (i) relevância do artigo para o desenvolvimento da pesquisa científica; (ii) o ano de publicação (publicações de 2020 a 2025); (iii) artigo completo e publicado em revista científica; (iv) idioma das publicações (inglês, espanhol e português); (v) a qualidade metodológica do artigo; e (vi) o tipo de artigo (teórico ou aplicado).

Na terceira etapa (Quadro 1), realizou-se a seleção dos artigos científicos. Primeiramente, fez-se uma leitura dos títulos, visando identificar trabalhos relacionados ao foco desta pesquisa. Posteriormente, fez-se a leitura de todos os resumos dos artigos selecionados na primeira etapa. Por fim, fez-se uma leitura completa dos artigos selecionados para que se compreenda melhor o estado da arte das obras e suas abordagens, visando identificar seus respectivos níveis de aderência com a temática desta pesquisa.

Na quarta etapa (Quadro 1), foi realizada uma categorização dos artigos, registrando as seguintes informações em uma planilha eletrônica: descritores utilizados para localizá-lo, base de dados consultada, autores, ano de publicação, título do artigo, nome da revista científica, tipo de estudo (teórico ou empírico), Classificação Qualis/CAPES (2017-2020) da revista científica, objeto de pesquisa, técnica de análise dos dados, principais resultados, limitações da pesquisa e sugestões para estudos futuros.

Dos 20 artigos selecionados e analisados, 10 foram utilizados (etapa 5; Quadro 1) ou seja, os que se mais alinhavam à temática deste estudo. Foram considerados apenas os artigos teóricos e empíricos que abordassem a utilização de energia fotovoltaica em organizações, podendo ser teóricos ou empíricos. Para isso, considerou-se: (i) qual foi o objeto de estudo; (ii) metodologia empregada; e (iii) aspectos técnicos, econômicos e ambientais destacados por cada estudo. O Quadro 2 apresenta uma síntese dos artigos selecionados para esta análise.

Quadro 2. Síntese dos artigos analisados

<b>Autores (ano)</b>	<b>Título</b>	<b>Revista Científica</b>	<b>Classif. Qualis/CAPES</b>
Aristizábal e González (2021)	Energía solar fotovoltaica ver instituciones educativas: caso de estudio ITM campus Robledo	Semestre Económico	A2
Alves, <i>et al.</i> (2023)	Otimização da localização de parques solares numa 5ainéis5iva de sustentabilidade	Finisterra	A1
Tiba e Belaid (2021)	<i>Modeling the nexus between sustainable development and renewable energy: the 5ainéis perspectives</i>	<i>Journal of Economic Surveys</i>	A1
Bender <i>et al.</i> (2020)	Estudo da paridade econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil	Ambiente Construído	A3
Franco, Piekarski e Franco (2020)	Desafios Industriais com aplicações fotovoltaicas: uma revisão sistemática	Navus-Revista de Gestão e Tecnologia	A4
Elgamal e Demajorovic (2020)	As barreiras e perspectivas para geração de energia elétrica por 5ainéis solares fotovoltaicos na matriz energética brasileira	Ver. Gest.Amb. e Sust.- GeAS.	A3
Gomes, Oliveira e Musci (2023)	Inclina Sol: Um aplicativo para o cálculo do ângulo ótimo de 5ainéis solares	Revista de Tecnologia Aplicada (RTA)	A4
Saadati e Barutcu (2024)	Forecasting Solar Energy: Leveraging Artificial Intelligence and Machine Learning for Sustainable Energy Solutions	Journal of Economic Surveys	A1
Kim <i>et al.</i> (2024)	Shading-loss enhancement of high-density photovoltaic shingled module for urban building applications	Solar Energy	A1
Scolari e Strauhs (2024)	Contribuições da Geração Fotovoltaica no Alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	Fórum Ambiental da Alta Paulista	A2

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Na sexta etapa, os artigos selecionados foram analisados, sendo identificados os principais pontos abordados em cada um deles, mapeando as lacunas, explorando novas direções, discutindo os resultados da pesquisa. Nesta fase, os artigos que possuíam temas semelhantes foram comparados entre si, destacando as convergências e as divergências. Tal escolha permitiu explorar de maneira mais abrangente e reflexiva o tema, identificando com clareza as lacunas e as possíveis sugestões futuras a serem abordadas. A partir dos resultados

desta pesquisa, foi elaborado um *framework* de análise a partir dos resultados desta pesquisa com uma agenda de estudos futuros.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos ao utilizar uma energia renovável como a fotovoltaica são favoráveis e agregam benefícios, pois Aristizábal e González (2021) e Elgamal e Demajorovic (2020) mostram que fontes de energias limpas, em contextos estratégicos e bem estruturados, contribuem para as dimensões econômicas, sociais e ambientais do desenvolvimento sustentável, além de incentivar uma boa governança para o cumprimento da agenda de 2030, promover qualidade de vida, inclusão social, mitigação das mudanças climáticas, promoção de acesso a eletricidade para todos. Dessa forma, ambos os estudos concordam que o papel das energias renováveis é de suma importância para a transformação sustentável, sendo fundamentais para impulsionar o desenvolvimento equilibrado, inclusivo e sustentável.

A partir dos estudos de Aristizábal e González (2021) e Elgamal e Demajorovic (2020), é possível fazer uma comparação entre os incentivos (implícitos ou explícitos) que o Brasil e a Colômbia oferecem para seus cidadãos. É possível destacar que no país colombiano existe uma combinação técnica, política e ambiental que fornece uma condição favorável para o avanço da energia solar, pois a Colômbia, assim como o Brasil, apresenta um alto nível de irradiação solar, o que contribui para a fomentação da fotovoltaica no território colombiano.

A reforma tributária de 2016, que ocorreu na Colômbia, instituiu um imposto sobre o carbono no valor de \$15.000 COP por cada tonelada de CO<sub>2</sub> emitida (Aristizábal; González, 2021). Vigente desde 31 de dezembro de 2017, essa medida estimula a adoção de projetos de energia renovável ou que contribuam para a redução de gases de efeito estufa, permitindo que os emissores compensem o valor do imposto por meio da implementação dessas iniciativas ou da comercialização de créditos de carbono. Trata-se, portanto, de um mecanismo que promove economicamente o uso de tecnologias limpas no país.

Segundo Elgamal e Demajorovic (2020), apesar de possuir um excelente potencial para a ampla implementação de energia fotovoltaica por parte da população, o Brasil possui várias limitações. As políticas voltadas para esse setor são fragmentadas e frequentemente descontinuadas. A Resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL 482/2012, deu início a um sistema de compensação de energia (*net metering*), com descontos temporários nas tarifas de uso do sistema de distribuição e do sistema de transmissão no Brasil. No entanto, ainda é um avanço limitado (Elgamal; Demajorovic, 2020). Essa resolução foi aplicada em projetos em 2017, mas não foram renovadas com previsibilidade. Tais resultados demonstram que o Brasil ainda precisa evoluir mais em termos de políticas públicas, uma vez que existem países mais evoluídos nesse sentido, o que estimula a implementação e popularização de tecnologias limpas.

O sistema tributário do Brasil também penaliza a geração distribuída com a cobrança de ICMS sobre a energia compensada, reduzindo significativamente a atratividade econômica da energia solar residencial e comercial, ao contrário da Colômbia (Elgamal; Demajorovic, 2020). Outra barreira a ser enfrentada no Brasil é a ausência de linhas de crédito que possibilitem o financiamento da população em equipamentos de geração de energia fotovoltaica.

Uma comparação entre os artigos de Kim *et al.* (2024) e Gomes, Oliveira e Musci (2023) revela os impactos do sombreamento sobre a eficiência de sistemas fotovoltaicos. De acordo com Kim *et al.* (2024), os módulos fotovoltaicos analisados (*shingled*) podem sofrer perdas significativas de eficiência quando há sombreamento parcial, especialmente na parte inferior dos módulos, enquanto que o artigo descrito pelos autores Gomes, Oliveira, Musci (2023), trata o sombreamento de forma mais indireta, ao considerar fatores ambientais que prejudicam a

captação solar, como poeira, sujeira e acúmulo de água, ou seja, efeitos similares ao sombreamento em termos de bloqueio da radiação solar.

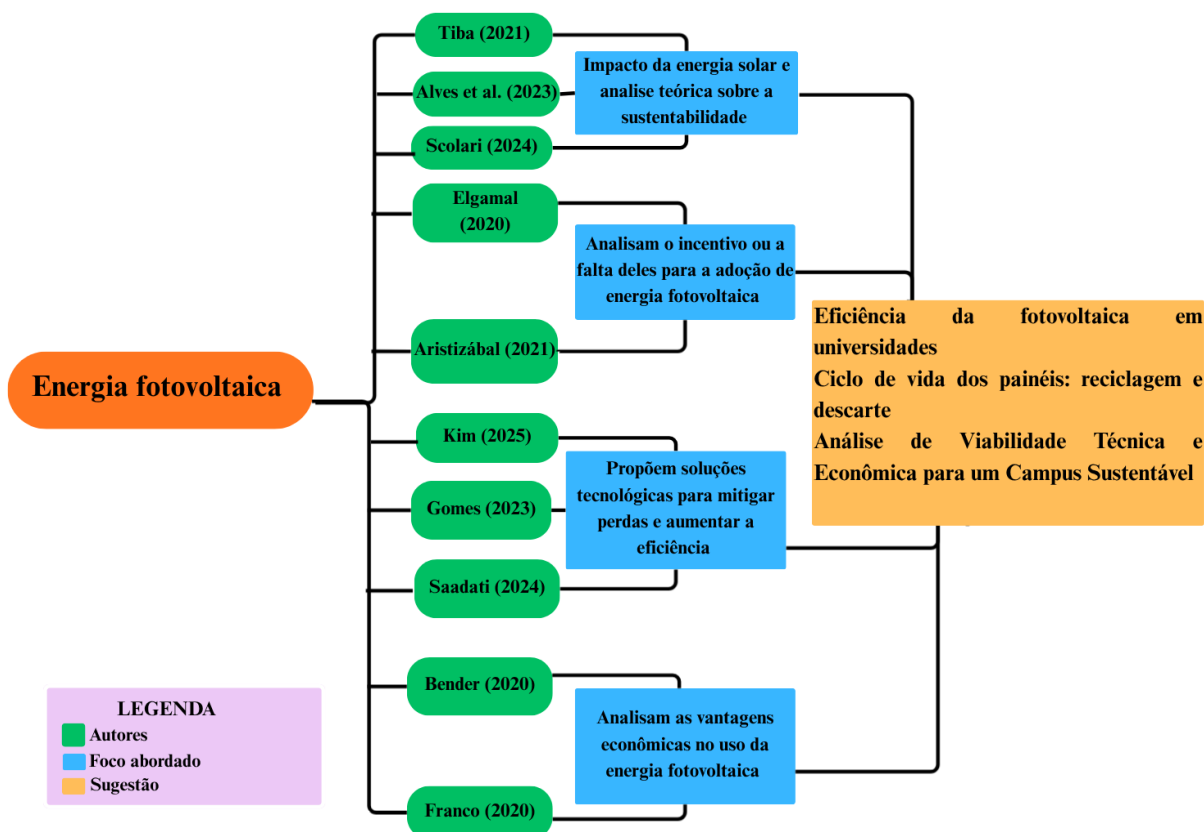
Os dois artigos propõem soluções para aumentar o ganho de eficiência dos módulos fotovoltaicos, porém por métodos diferentes, pois para Kim *et al.* (2024), isso seria realizado de maneira técnica e experimental, voltado principalmente à estrutura do módulo. Já para Gomes, Oliveira, Musci (2023), esse aumento na produtividade vai além da estrutura do módulo, pois leva em conta o local em que a placa fotovoltaica está instalada, utilizando do aplicativo InclinaSol para a solução do melhor posicionamento do módulo.

Os estudos de Gomes, Oliveira e Musci (2023) e de Saadati e Barutcu (2025) apresentam resultados que ajudam a compreender estratégias para melhorar o aproveitamento da energia solar. Uma das principais divergências entre os trabalhos está na forma como os resultados são obtidos e testados.

Enquanto o estudo de Gomes, Oliveira e Musci (2023) aborda situações reais, dependendo de fatores físicos e ambientais, o de Saadati e Barutcu (2025) trabalha com projeções e dados simulados, permitindo prever cenários e testar algumas estratégias mesmo antes da aplicação. Isso mostra como uma abordagem foca mais na prática e a outra na projeção de cenários para guiar decisões. Apesar das diferenças, os dois estudos chegam a conclusões bastante semelhantes ao mostrar que a eficiência da energia solar pode ser significativamente aprimorada com o uso da tecnologia e um planejamento adequado. Ambos indicam ganhos em desempenho, redução de perdas e maior capacidade de adaptação dos sistemas em diferentes contextos.

A partir dos estudos analisados, foi elaborado um *framework* de análise (Figura 1) que representa os principais pontos de convergência e divergência das obras selecionadas.

Figura 1. *Framework* de análise



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tiba e Belaid (2020), Alves *et al.* (2023) e Scolari e Strauhs (2024) abordam a energia fotovoltaica como um elemento estratégico dentro de uma visão mais ampla de desenvolvimento sustentável (Figura 1). Percebe-se uma compreensão de que a expansão das fontes renováveis, em especial a solar, não se limita a uma transição energética de caráter técnico, mas representa também uma alavanca para transformações sociais, econômicas e ambientais. A energia fotovoltaica é concebida como um instrumento de articulação entre acesso à energia, equidade e resiliência, inserida em agendas que vão além da redução de emissões. Tanto em contextos locais quanto em abordagens mais amplas, os autores demonstram que o papel da energia solar está associado à promoção de justiça social, fortalecimento de comunidades e geração de oportunidades, além de estar alinhada a metas globais de sustentabilidade. Nota-se, portanto, uma leitura da energia fotovoltaica não apenas como solução energética, mas como vetor estruturante de políticas públicas, inclusão e desenvolvimento em múltiplas escalas.

Os autores Aristizábal e Gonzáles (2021) e Elgamal e Demajorovic (2020) demonstram uma preocupação clara com os mecanismos que viabilizam ou limitam a adoção da energia fotovoltaica, refletindo sobre o papel dos incentivos institucionais, regulatórios e estruturais nesse processo (Figura 1). Em suas abordagens, nota-se que o avanço da energia solar não depende apenas de sua viabilidade técnica ou dos benefícios ambientais que oferece, mas também de condições políticas, econômicas e administrativas que possam sustentar sua expansão de forma consistente. Há uma percepção comum de que a presença de incentivos adequados impacta diretamente a capacidade de implementação da tecnologia fotovoltaica, seja em ambientes educacionais, urbanos ou no contexto mais amplo da matriz energética. Os autores evidenciam, de diferentes formas, que barreiras institucionais, burocráticas e econômicas ainda representam obstáculos importantes, ao mesmo tempo em que apontam potenciais e oportunidades que poderiam ser exploradas caso houvesse um ambiente mais favorável à difusão dessas soluções.

Kim *et al.* (2024), Gomes, Oliveira e Musci (2023) e Saadati e Barutcu (2025) abordam a eficiência dos sistemas fotovoltaicos a partir da compreensão de que desafios técnicos persistem e exigem respostas inovadoras (Figura 1). Os estudos revelam a percepção de que mitigar perdas e aprimorar o desempenho energético não depende apenas de avanços materiais, mas também de soluções integradas entre tecnologia, usabilidade e inteligência de dados. Nota-se uma valorização crescente de abordagens tecnológicas aplicadas a contextos específicos, com ênfase tanto em ambientes urbanos quanto na variabilidade natural da geração solar. Os autores tratam a eficiência não como um resultado fixo, mas como um alvo dinâmico, sensível a fatores ambientais, estruturais e operacionais, e que, portanto, demanda intervenções propositivas e estratégicas. Além disso, há uma compreensão comum de que a inovação deve ser acessível e adaptável, seja por meio do uso de ferramentas digitais, do redesenho de componentes ou da aplicação de modelos computacionais avançados. Essa visão compartilha a ideia de que otimizar sistemas fotovoltaicos é uma tarefa multidimensional, que exige olhar técnico, capacidade de adaptação e inteligência na tomada de decisão.

A forma como os diferentes estudos abordam a busca por soluções tecnológicas para aumentar a eficiência e mitigar perdas em sistemas fotovoltaicos revela uma preocupação comum com a adaptação das tecnologias às condições práticas de operação. Essa visão se articula com reflexões anteriores, como as de Bender *et al.* (2020) e Franco (2020), ao reconhecer que a efetividade dos sistemas solares depende não apenas do avanço técnico, mas também da capacidade de responder a realidades específicas. Há, portanto, um alinhamento entre os trabalhos, que compartilham a noção de que a inovação em energia solar deve ser orientada por critérios de desempenho, contexto e aplicabilidade, transcendendo uma abordagem meramente tecnológica e assumindo um caráter mais estratégico e integrado.

Foi possível também analisar algumas limitações nas pesquisas através de informações apontadas pelos seus respectivos autores e, com isso, propor sugestões para estudos futuros a partir dessa perspectiva, conforme mostra a Figura 1.

Observa-se que os artigos de Tiba e Belaid (2020), Scolari e Strauhs (2024), Aristizábal e Gonzáles (2021) e Elgamal e Demajorovic (2020) estão ligados a abordagens mais teóricas, como o impacto da energia solar e as políticas de incentivo, sendo suas limitações associadas à ausência de indicadores e à pouca análise da efetividade real (Figura 2). Já os estudos de Kim *et al.* (2025), Gomes, Oliveira e Musci (2023) e Saadati e Baructu (2024) se concentram em soluções tecnológicas voltadas à eficiência, mas compartilham a limitação relacionada à falta de validação prática junto a usuários reais. Mesmo partindo de propostas diferentes, muitos estudos apresentam limitações semelhantes, como a falta de dados aplicados. Isso aponta para uma lacuna na literatura sobre energia fotovoltaica: a necessidade de maior integração entre teoria, tecnologia e aplicação prática. A partir dessas limitações comuns, reforça-se a importância de estudos que consigam equilibrar inovação com aplicabilidade, como o que se propõe neste trabalho.

Através de informações apontadas nas considerações por cada autor dos respectivos artigos que foram analisados, foram consideradas duas sugestões, uma análise voltada para os fatores qualitativos e quantitativos, que permitem medir, comparar, minerar os dados e também compreender o porquê dos resultados obtidos. A outra sugestão é a comparação entre zonas com foco comparativo no Norte e Sudeste, que ajudam a realçar diferenças importantes e possibilita identificar os padrões existentes entre regiões tão distintas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi analisar criticamente a produção científica sobre energia fotovoltaica no período longitudinal de 2020 a 2024, identificando tendências, contribuições, desafios e lacunas relacionadas à sustentabilidade e, por meio de uma revisão integrativa da literatura. Os estudos analisados se concentraram, em grande maioria, em temas ligados a questões econômicas, teóricas e legais, de eficiência e de incentivos à adoção da energia solar. Nota-se que os estudos que tratam do tema se concentram em diferentes perspectivas, o que evidencia que estudos sobre energia limpa se encontram em expansão. Isso demonstra áreas promissoras e passíveis de novos estudos para o avanço do conhecimento científico no que se refere a energias limpas e sustentabilidade.

Os resultados da revisão integrativa da literatura evidenciam os impactos positivos advindos da energia fotovoltaica, demonstrando seu papel no desenvolvimento sustentável, proporcionando vantagens econômicas, oferecendo soluções tecnológicas, e incentivando a adoção de energia solar. Também é evidenciado a sua contribuição para edificações de baixo consumo e para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, em especial ao objetivo de número 7. Neste contexto, a energia fotovoltaica SE consolida como um modelo eficiente, seguro e limpo que impulsiona um avanço social, econômico e ambientalmente responsável. Esse papel é crucial para a transformação sustentável, promovendo qualidade de vida, inclusão social, mitigação das mudanças climáticas e ampliação do acesso à eletricidade para todos.

Foram igualmente identificados desafios e lacunas, especialmente no que diz respeito aos incentivos institucionais e à eficiência dos sistemas. Foi observado que, enquanto países como a Colômbia possuem uma combinação técnica, política e ambiental que favorece o avanço da energia solar, com medidas como um imposto sobre o carbono que estimula projetos renováveis, o Brasil enfrenta limitações significativas devido a políticas públicas fragmentadas e descontínuas, além de um sistema tributário que penaliza a geração distribuída e a ausência de linhas de crédito adequadas.

Esta pesquisa se restringiu à analisar artigos sobre energia fotovoltaica dos últimos 5 anos (2020 a 2024), não considerando outros artigos de períodos anteriores que tenham grande representatividade. Novos estudos com um recorte temporal maior e análises bibliométricas podem ser instrumentos valiosos para identificar os principais autores e suas contribuições para a área ao longo do tempo. Contribuíram também para a identificação de quais instituições e regiões se destacam no cenário contemporâneo sobre pesquisas acerca da sustentabilidade e energia fotovoltaica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo de Investimento em Pesquisa (FIP) da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas, pela concessão de uma bolsa de iniciação científica à primeira autora e apoio aos demais, para que esta pesquisa fosse possível.

## REFERÊNCIAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Mais de 3,7 milhões de unidades consumidoras são atendidas por energia solar fotovoltaica no Brasil**. São Paulo: ABSOLAR, maio 2024.

ALVES, A. *et al.* Otimização da localização de parques solares numa perspectiva de sustentabilidade: Proposta de índice espacial em Portugal Continental. **Finisterra**, Lisboa, v. 58, n. 124, p. 63-84, dezembro 2023.

ARISTIZÁBAL, C. E.; GONZÁLEZ, J. L. Energía solar fotovoltaica en instituciones educativas: caso de estudio ITM campus Robledo. **Semestre Económico**, v. 24, n. 57, p. 30-57, julio-diciembre 2021.

BENDER, L. *et al.* Estudo da paridade econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 489-508, dezembro 2020.

CARVALHO, J. L. R.; MACHADO, M. N. M.; MEIRELLES, A. M. Mudanças climáticas e aquecimento global: implicações na gestão estratégica de empresas do setor siderúrgico de Minas Gerais. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 9, n. 2, art. 1, p. 220-244, 2011

CHAVES, A. S. Tecnologias de eletricidade limpa podem resolver a crise climática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.

ELGAMAL, N. G.; DEMAJOROVIC,. As barreiras e perspectivas para geração de energia elétrica por painéis solares fotovoltaicos na matriz energética brasileira. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 1, p. 1-28, 2020.

FRANCO, A. C.; PIEKARSKI, M.; FRANCO,. Desafios industriais com aplicações fotovoltaicas: uma revisão sistemática. **Navus**, Florianópolis, v. 1, p. 1-16, dezembro 2020.

GOMES, A.; OLIVEIRA, M. F. D. N.; MUSCI, M. InclinaSol: Um aplicativo para o cálculo do ângulo ótimo de painéis solares. **Revista de Tecnologia Aplicada**, v. 12, n. 2, p. 15-24, novembro 2023.

IEMA - INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE; INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Avaliação de impacto socioambiental da introdução de sistemas fotovoltaicos no Território Indígena do Xingu**. São Paulo: IEMA, ISA, mar. 2019.

KIM, J. *et al.* Shading- loss enhancement of high-density photovoltaic shingled module for urban building applications. **Elsevier**, p. 1-11, dezembro 2024.

LAJARA, B. M. *et al.* Analyzing the Role of Renewable Energy in Meeting the Sustainable Development Goals: A Bibliometric Analysis. **Energies**, v. 16, n. 3137, p. 22, Março 2023.

MARTINS, A. G.; TEÓFILO, C. R. **Metodologia da Investigação Científica para Ciências Sociais Aplicadas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

MELLO, E. L.; COSTA, Q. M; FORTES, M. Z. Inserção da energia renovável como alternativa sustentável e aumento da confiabilidade no fornecimento de energia para subestações de transmissão. **Revista de Tecnologia Aplicada-RTA**, v. 12, n. 3, p. 15, 2023.

ONU - UNITED NATIONS. **GENERAL ASSEMBLY et al. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015**. Washington: United Nations, 2015.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: [s.n.], 2017.

REIS, A. K. C. D. *et al.* Energia fotovoltaica: historicidade e legislação pertinente. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, p. 65012-65032, junho 2021.

SAADATI, T.; BARUTCU, B. Forecasting Solar Energy: Leveraging artificial intelligence and machine learning for sustainable energy solutions. **Journal of Economic Surveys**, p. 1-18, dezembro 2024.

SCOLARI, S.; STRAUHS, F. R. Contribuições da geração fotovoltaica no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 20, n. 2, p. 17-32, 2024.

SILVA, J. T. S. *et al.* Análise do custo e do potencial de geração de energia fotovoltaica em uma universidade pública brasileira. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 15, p. 3-19, abril 2020.

SOARES, C. A. B.; NADAE, J. D.; NASCIMENTO, D. C. D. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma instituição de ensino superior no estado do Ceará. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 10, n. 2, p. 84-104, junho 2021.

TIBA, S.; BELAID, F. Modeling the nexus between sustainable development and renewable energy: The african perspectives. **Journal of Economic Surveys**, v. 35, p. 307-329, 2021.

TORRACO, R. J. **Writing integrative literature reviews: using the past and present to explore the future**. [S.l.]: Human Resource Development Review, v. 15(4), 404-428, 2016.