

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

Introdução

O tema central do artigo aborda o uso da energia fotovoltaica (FV) e o desenvolvimento sustentável, segundo os autores referenciados a temática abrange uma série de elementos que visam a mitigação de problemas ambientais e a busca pelo uso mais eficiente dos recursos disponíveis, além da avaliação dos impactos causados pelas atividades das organizações.

O tema está alinhado com os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, propostos em 2015 para guiar a humanidade até 2030. A ODS 7 – Energia Acessível e Limpa destaca-se, e a energia fotovoltaica consolida-se como uma alternativa promissora para diversificar a matriz energética e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

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; Nadae; 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).

Segundo a Absolar (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) o Brasil possui um grande potencial energético solar, havendo uma expansão acelerada no país, com mais de três milhões de residências utilizando energia fotovoltaica em 2024, um aumento superior a 200% em três anos em relação a 2021 (Absolar, 2024). A energia fotovoltaica também é vista como um elemento estratégico que impulsiona o desenvolvimento equilibrado, inclusivo e sustentável, promovendo justiça social e mitigando as mudanças climáticas.

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).

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

Fundamentação Teórica

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.

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.

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.

Metodologia

Foi realizada uma pesquisa qualitativa e descritiva. Esse tipo de pesquisa permite construir um avanço do conhecimento científico por meio de um aprofundamento sobre o entendimento de um fenômeno, compreendendo-o de forma mais ampla (Martins; Teóphilo, 2016). Utiliza a metodologia de revisão integrativa da literatura, que analisa publicações científicas e mapeia lacunas dentro das pesquisas para explorar novas direções (Torraco, 2016). Esse método é recomendado para a formulação de uma nova perspectiva teórica (Torraco, 2016).

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*.

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. Na terceira etapa, 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.

Na quarta etapa 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) ou seja, os que se mais alinhavam à temática deste estudo. Considerou-se 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 (Quadro 1).

Quadro 1. Síntese dos artigos analisados

Autores (ano)	Título	Revista Científica	Qualis
Aristizábal e González (2021)	Energía solar fotovoltaica en instituciones educativas: caso de estudio ITM campus Robledo	Semestre Económico	A2
Alves, <i>et al.</i> (2023)	Otimização da localização de parques solares numa perspectiva de sustentabilidade	Finisterra	A1
Tiba e Belaid (2021)	<i>Modeling the nexus between sustainable development and renewable energy: the african 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 painéis solares fotovoltaicos na matriz energética brasileira	Rev. Gest.Amb. e Sust.- GeAS.	A3
Gomes, Oliveira e Musci (2023)	Inclina Sol: Um aplicativo para o cálculo do ângulo ótimo de painéis 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.

Análise e Discussão dos Resultados

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.

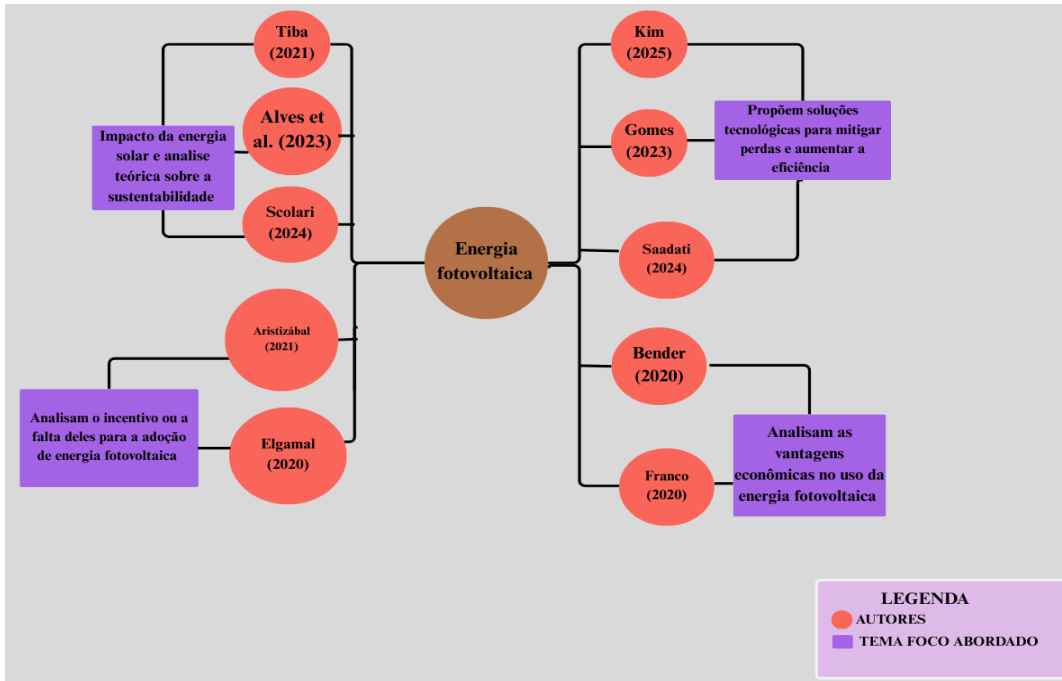
Segundo Elgamal e Demajorovic (2020), apesar de possuir um excelente potencial para a ampla implementação de energia fotovoltaica por parte da população, o Brasil possui várias limitações. As políticas voltadas para esse setor são fragmentadas e frequentemente descontinuadas. A Resolução da Agência Nacional 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).

Uma comparação entre os artigos de Kim *et al.* (2024) e Gomes, Oliveira e Musci (2023) evidenciam a preocupação em mitigar perdas e aprimorar o desempenho energético, o que exige soluções inovadoras, como a mitigação de sombreamento o posicionamento otimizado a previsão de energia com modelos híbridos de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina (ML), como redes neurais e SVM, são cruciais para a integração eficiente da energia solar às redes elétricas e para o cumprimento dos ODS 7 e 13.

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. 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.

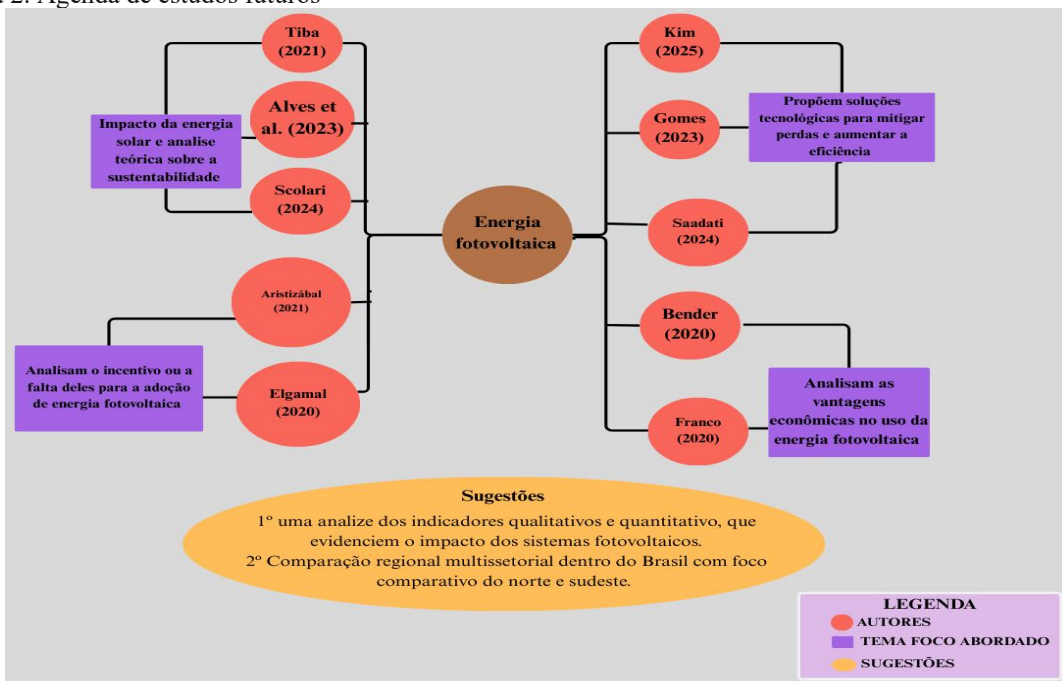
A principal lacuna identificada na literatura é a necessidade de maior integração entre teoria, tecnologia e aplicação prática, com estudos mais teóricos sobre impacto e políticas de incentivo que frequentemente carecem de indicadores e de uma análise da efetividade real, estudos focados em soluções tecnológicas (como os de eficiência e otimização) compartilham a limitação da falta de validação prática junto a usuários reais.

Figura 1. *Framework* de análise



Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Figura 2. Agenda de estudos futuros



Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

A sugestões para estudos futuros incluem a analisar fatores qualitativos e quantitativos para medir e compreender os resultados obtidos e realizar comparações entre zonas geográficas distintas, como as regiões Norte e Sudeste do Brasil, para realçar diferenças e padrões regionais.

Considerações Finais

Em síntese, a energia fotovoltaica se consolida como um modelo eficiente, seguro e limpo, crucial para a transformação sustentável, embora seu avanço, especialmente no Brasil, dependa de políticas públicas consistentes e investimentos estratégicos.

Referências

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.

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

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

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

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

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.