



ENERGIA FOTOVOLTAICA NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: ANÁLISE DA VIABILIDADE E BENEFÍCIOS.

ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL AGRONEGOCIO BRASILEÑO: ANÁLISIS DE VIABILIDAD Y BENEFICIOS.

PHOTOVOLTAIC ENERGY IN BRAZILIAN AGRIBUSINESS: FEASIBILITY ANALYSIS AND BENEFITS.

Guilherme Rafael Schuch¹; Karine de Carvalho Volkmer²; Ismael Cristofer Baierle³; Fernanda Trombetta⁴

DOI: <https://doi.org/10.31692/VICIAGRO.0103>

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade e os benefícios da adoção da energia fotovoltaica no agronegócio brasileiro. Fundamentado em bases teóricas que destacam o elevado potencial do Brasil para geração solar devido à sua localização privilegiada e alta incidência anual de radiação solar e disponibilidade de matéria-prima para fabricação de células fotovoltaicas o estudo parte da premissa de que o agronegócio nacional depende cada vez mais de fontes renováveis para aumentar a eficiência produtiva, reduzir custos e aprofundar a sustentabilidade ambiental no campo. Para alcançar esse objetivo, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) entre fevereiro e maio de 2025, utilizando a base de dados Scopus e o protocolo PRISMA 2022, o que garantiu rigor metodológico, transparência e reprodutibilidade. Foram inicialmente identificados 221 artigos, dos quais 11 compuseram a amostra final após a aplicação de critérios de inclusão, exclusão e elegibilidade. Os resultados evidenciam que a energia fotovoltaica proporciona autonomia energética, resiliência frente às oscilações do mercado, retorno financeiro atrativo, desta forma sendo possível considerar impactos positivos na inclusão social e no desenvolvimento tecnológico do campo. Além disso, a adoção da energia solar contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, modernização das cadeias produtivas rurais e melhoria da qualidade de vida em regiões remotas, tornando o setor mais competitivo e sustentável. Observou-se também que a expansão dessa tecnologia tem impulsionado investimentos no setor rural, promovendo inovação, diversificação de receitas e maior segurança energética para o agronegócio brasileiro. Conclui-se que a energia fotovoltaica é uma solução viável e estratégica para o agronegócio brasileiro, alinhando-se às demandas globais por descarbonização e uso racional dos recursos energéticos. Sua consolidação, entretanto, depende do fortalecimento das políticas públicas, incentivos econômicos e capacitação técnica para ampliar a adoção dessa tecnologia no meio rural.

Palavras-Chave: *Energia solar, Sustentabilidade, Energia renovável, Agronegócio e Agroindústria*

RESUMEN

¹ Discente do curso Mestrado em Sistemas e Processos Agroindustriais, campus Santo Antônio da Patrulha da instituição Universidade Federal do Rio Grande, FURG, guilherme.schuch@outlook.com

² Discente do curso mestrado em sistemas e processos agroindustriais, campus Santo Antônio da Patrulha da instituição Universidade Federal do Rio Grande, FURG, karine.volkmer@gmail.com

³ Docente da Escola Engenharia, campus Santo Antônio da Patrulha da instituição Universidade federal do Rio Grande, FURG, ismaelbaierle@hotmail.com

⁴ Docente da Escola química e Alimentos, campus Santo Antônio da Patrulha da instituição Universidade federal do Rio Grande, FURG, fernandatrombetta@furg.br

La presente investigación tiene como objetivo analizar la viabilidad y los beneficios de la adopción de la energía fotovoltaica en el agronegocio brasileño. Fundamentado en bases teóricas que destacan el elevado potencial de Brasil para la generación solar —debido a su ubicación privilegiada, alta incidencia anual de radiación solar y disponibilidad de materia prima para la fabricación de células fotovoltaicas—, el estudio parte de la premisa de que el agronegocio nacional depende cada vez más de fuentes renovables para aumentar la eficiencia productiva, reducir costos y profundizar la sostenibilidad ambiental en el campo. Para alcanzar este objetivo, se realizó una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) entre febrero y mayo de 2025, utilizando la base de datos Scopus y el protocolo PRISMA 2022, lo que garantizó rigor metodológico, transparencia y reproducibilidad. Inicialmente se identificaron 221 artículos, de los cuales 11 conformaron la muestra final tras la aplicación de criterios de inclusión, exclusión y elegibilidad. Los resultados evidencian que la energía fotovoltaica proporciona autonomía energética, resiliencia frente a las oscilaciones del mercado y un retorno financiero atractivo, permitiendo así considerar impactos positivos en la inclusión social y en el desarrollo tecnológico del campo. Además, la adopción de la energía solar contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la modernización de las cadenas productivas rurales y la mejora de la calidad de vida en regiones remotas, haciendo el sector más competitivo y sostenible. Se observó también que la expansión de esta tecnología ha impulsado inversiones en el sector rural, promoviendo la innovación, la diversificación de ingresos y una mayor seguridad energética para el agronegocio brasileño. Se concluye que la energía fotovoltaica es una solución viable y estratégica para el agronegocio brasileño, alineándose con las demandas globales de descarbonización y uso racional de los recursos energéticos. Su consolidación, sin embargo, depende del fortalecimiento de las políticas públicas, incentivos económicos y capacitación técnica para ampliar la adopción de esta tecnología en el medio rural.

Palabras Clave: *Energía solar, Sostenibilidad, Energía renovable, Agronegocio y Agroindustria*

ABSTRACT

The present study aims to analyze the feasibility and benefits of adopting photovoltaic energy in Brazilian agribusiness. Based on theoretical foundations that highlight Brazil's high potential for solar generation due to its privileged location, high annual incidence of solar radiation, and availability of raw materials for manufacturing photovoltaic cells—the study starts from the premise that the national agribusiness sector increasingly depends on renewable sources to enhance productive efficiency, reduce costs, and deepen environmental sustainability in rural areas. To achieve this objective, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted between February and May 2025, using the Scopus database and the PRISMA 2022 protocol, which ensured methodological rigor, transparency, and reproducibility. Initially, 221 articles were identified, from which 11 comprised the final sample after applying inclusion, exclusion, and eligibility criteria. The results show that photovoltaic energy provides energy autonomy, resilience to market fluctuations, and attractive financial returns, thus making it possible to consider positive impacts on social inclusion and technological development in rural areas. Furthermore, the adoption of solar energy contributes to the reduction of greenhouse gas emissions, modernization of rural production chains, and improvement of quality of life in remote regions, making the sector more competitive and sustainable. It was also observed that the expansion of this technology has driven investments in the rural sector, promoting innovation, revenue diversification, and greater energy security for Brazilian agribusiness. It is concluded that photovoltaic energy is a viable and strategic solution for Brazilian agribusiness, aligning with global demands for decarbonization and rational use of energy resources. Its consolidation, however, depends on the strengthening of public policies, economic incentives, and technical training to broaden the adoption of this technology in rural areas.

Keywords: *Solar energy, Sustainability, Renewable energy, Agribusiness, and Agroindustry*

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia renovável no Brasil, impulsionada pela necessidade de enfrentar as mudanças climáticas e atender ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7) - Energia limpa e acessível da ONU, torna a energia fotovoltaica uma alternativa promissora para o setor agroindustrial. Com o consumo de energia elétrica significativo e desafios como altos custos de processamento, a energia solar pode reduzir custos e promover práticas sustentáveis (Sousa & Morgado, 2019).

Na busca por soluções sustentáveis para enfrentar as mudanças climáticas e a crescente demanda energética da sociedade contemporânea, as fontes renováveis de energia emergem como alternativas viáveis e promissoras (Azevedo; Santos; Antón, 2019). Dentre essas fontes, a energia fotovoltaica destaca-se como uma tecnologia eficiente e ambientalmente amigável, que converte diretamente a luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico, fenômeno no qual materiais como os semicondutores liberam elétrons ao serem expostos à radiação solar, o que resulta em corrente elétrica (Muthusamy & Arivudainambi, 2022; Dixit *et al.*, 2023). Os sistemas fotovoltaicos são compostos principalmente por células fotovoltaicas, fabricadas geralmente a partir de silício dopado, que convertem a energia luminosa em corrente elétrica contínua, posteriormente transformada em corrente elétrica alternada por inversores para uso residencial, industrial ou para injeção na rede elétrica (Oliveira *et al.*, 2021).

O Brasil, devido à sua localização intertropical, possui um elevado potencial para a geração de energia fotovoltaicas, o que torna essa fonte uma alternativa viável especialmente para regiões remotas, onde o custo das fontes convencionais é elevado e o acesso à energia elétrica é limitado (Paulista, 2017). Projeções indicam que até 2050, o país poderá contar com praticamente 100% de sua matriz energética proveniente de fontes renováveis, consideradas mais seguras para o meio ambiente (Greenpeace, 2019). Atualmente, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), 43,5% da matriz energética brasileira é composta por fontes renováveis, superando a média global de 14%. Deste total, 65,2% da eletricidade é gerada por hidrelétricas, enquanto a energia fotovoltaica e eólica representam 6,9%, com o restante distribuído entre gás natural, biomassa, carvão, nuclear e derivados de petróleo (EPE, 2016).

No âmbito do agronegócio brasileiro, setor de relevância estratégica para a economia nacional, destaca-se o elevado consumo de energia elétrica, sobretudo no segmento agroindustrial, que compreende a integração das atividades agrícolas e industriais, frequentemente situadas em regiões rurais (Moi, 2024). Os elevados custos energéticos impactam diretamente o processamento e a conservação dos produtos agrícolas, além de

dificultar o acesso à energia em localidades remotas, tornando a energia fotovoltaica uma alternativa estratégica para suprir essas demandas, reduzir custos e promover a sustentabilidade. Destaca-se que cerca de 20% da energia utilizada no setor agropecuário ainda provém da queima de lenha, e 40% do uso de combustíveis fósseis, o que reforça a urgência da transição para fontes renováveis como a solar (Jurasz; Campana, 2019).

Além disso, o crescimento populacional global e a consequente elevação da demanda por alimentos impõem ao setor agrícola o desafio de aumentar a produção de forma sustentável (Marin *et al.*, 2016). O agronegócio brasileiro, complexo e multifacetado, requer melhorias em infraestrutura e eficiência energética, bem como políticas públicas e privadas que promovam o desenvolvimento sustentável e a superação das vulnerabilidades socioeconômicas, especialmente na agricultura familiar (Delgado, 1985; Donato *et al.*, 2018; Hein & Silva, 2019).

Diante desse panorama, o presente estudo visa responder a seguinte pergunta: “Quais os benefícios que a energia fotovoltaica pode trazer ao agronegócio?”. Por sua vez, o objetivo deste trabalho é analisar os benefícios que a energia fotovoltaica pode trazer ao agronegócio.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A energia fotovoltaica tem se consolidado como uma alternativa promissora para o setor do agronegócio brasileiro, devido às suas características técnicas e ambientais que atendem às demandas específicas do meio rural. Segundo Francisco *et al.*(2024), o Brasil possui condições naturais favoráveis para a geração de energia fotovoltaica, com alta incidência de radiação solar e reservas significativas de quartzo, matéria-prima essencial para a fabricação das células fotovoltaicas. Essa condição geográfica, aliada à durabilidade dos sistemas - que ultrapassa 20 anos - e a baixa necessidade de manutenção, torna a tecnologia atrativa para produtores rurais que buscam reduzir custos operacionais e aumentar a competitividade (Kruger, 2023).

A versatilidade da energia solar no agronegócio é outro ponto destacado na literatura. Conforme Micheletti (2023), a tecnologia fotovoltaica pode ser aplicada em diversas atividades agropecuárias, como bombeamento e irrigação de água, refrigeração de produtos, regulação térmica na avicultura, iluminação, monitoramento e telecomunicações. Essa sinergia entre produção agrícola e geração de energia permite um uso eficiente do espaço e dos recursos, contribuindo para a sustentabilidade e a inovação no campo. Além disso, a energia solar proporciona independência energética, reduzindo a vulnerabilidade das propriedades rurais às oscilações do mercado energético e à instabilidade da rede elétrica convencional (De Carvalho, 2024).

A energia fotovoltaica desempenha um papel fundamental na promoção da

sustentabilidade ambiental no agronegócio, além dos benefícios econômicos que proporciona. A transição de geradores a diesel para sistemas solares resulta em uma significativa redução na emissão de gases de efeito estufa, contribuindo diretamente para os esforços globais de mitigação das mudanças climáticas. Essa mudança tecnológica não apenas fortalece a resiliência ambiental do setor, mas também o alinha com políticas internacionais voltadas para a descarbonização da economia (Francisco *et al.* 2024). A regulação normativa brasileira tem evoluído para apoiar a expansão da energia solar, promovendo a eficiência energética e a sustentabilidade no setor elétrico, conforme análise de da Silva *et al.* (2024). Essa evolução normativa é essencial para consolidar a energia solar como uma matriz energética estratégica no Brasil, especialmente no contexto rural, o qual o agronegócio está ancorado.

A adoção da energia fotovoltaica no agronegócio também tem impacto social relevante, ao gerar empregos e fomentar o empreendedorismo rural. O desenvolvimento tecnológico e a expansão da cadeia produtiva da energia solar criam oportunidades de trabalho e incentivam a inovação no campo, contribuindo para o fortalecimento econômico das regiões produtoras. A energia solar, portanto, não apenas reduz custos e impactos ambientais, mas também promove o desenvolvimento sustentável e a competitividade do agronegócio brasileiro em âmbito nacional e internacional (Kruger, 2023).

Entretanto, a expansão da energia fotovoltaica no contexto do agronegócio brasileiro vem apresentando uma taxa de crescimento exponencial nos últimos anos, refletido no aumento expressivo do número de sistemas instalados e da potência energética gerada. Desta forma, dados recentes demonstram que o Brasil possui mais de 290 mil sistemas solares em áreas rurais, podendo chegar a uma potência instalada que pode superar 5,1 GW, possibilitando que o setor rural esteja como o terceiro maior no segmento em geração distribuída no país. Desde o ano de 2012, foram investidos mais de R\$ 25 bilhões no agronegócio com a implantação de sistemas fotovoltaicos, com projeções otimistas que indicam a possibilidade de R\$ 140 bilhões em novos investimentos até 2050, além da redução de custos operacionais relacionados à energia elétrica, especialmente em atividades como irrigação, produção leiteira e avicultura (Sokulski, 2023)

Moura e Santos (2019) evidenciam que a redução dos custos com energia elétrica, aliada à possibilidade de geração excedente para venda à rede, contribui para a diversificação das fontes de receita do produtor rural, aumentando a resiliência financeira do negócio. Além disso, o estudo destaca que a adoção da energia solar reduz significativamente os riscos associados à volatilidade dos preços da energia convencional, fator crucial para a sustentabilidade econômica do agronegócio brasileiro (Junior, 2019).

Por fim, a expansão da energia fotovoltaica no setor rural tem impactos sociais positivos, especialmente na geração de emprego e na capacitação técnica das comunidades locais. Francisco *et al.* (2024) apontam que o desenvolvimento da cadeia produtiva da energia solar no campo fomenta o empreendedorismo rural e promove a inclusão social, ao criar oportunidades de trabalho qualificado e incentivar a inovação tecnológica. Além disso, a autonomia energética proporcionada pelos sistemas fotovoltaicos tem como contribui para a melhoria da qualidade de vida nas áreas rurais, reduzindo a dependência da rede elétrica convencional, que muitas vezes é precária ou inexistente em regiões remotas.

METODOLOGIA

Para responder às questões de pesquisa propostas neste estudo, foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), metodologia amplamente reconhecida por sua capacidade de fornecer uma visão abrangente e crítica sobre o estado da arte em determinado campo. A RSL tem como objetivo principal sintetizar as evidências disponíveis, permitindo a identificação de padrões, tendências e lacunas no conhecimento, o que é essencial para orientar futuras investigações (Rethlefsen, 2021).

O processo de revisão foi realizado no período compreendido entre fevereiro a maio de 2025, utilizando a base de dados Scopus. A escolha dessa base garantiu o acesso a publicações de alta qualidade e relevância, assegurando a robustez dos resultados obtidos.

A delimitação da pesquisa bibliográfica foi feita por meio do cruzamento de palavras-chave específicas relacionadas ao tema central do estudo. Foram selecionados os termos “solar energy”, “photovoltaic energy”, “renewable energy”, “agribusiness” e “agroindustry”, que refletem os principais conceitos investigados. A combinação desses descritores foi realizada utilizando operadores booleanos (AND, OR), conforme a formulação: (("solar energy" OR "photovoltaic energy" OR "renewable energy") AND ("agribusiness" OR "agroindustry")) .

Essa estratégia de busca foi cuidadosamente estruturada para maximizar a abrangência dos resultados, ao mesmo tempo em que mantinha a relevância dos artigos selecionados para a temática específica. A utilização dos operadores booleanos permitiu a inclusão de estudos que abordassem diferentes aspectos das energias renováveis no contexto do agronegócio e da agroindústria.

Para garantir a rigorosidade metodológica da revisão, adotou-se o protocolo PRISMA 2022 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Este protocolo é um padrão internacionalmente aceito que orienta a condução e o relato de revisões sistemáticas, promovendo transparência e reprodutibilidade na seleção e análise dos estudos

incluídos.

A aplicação do método PRISMA envolveu etapas claras e definidas, desde a identificação inicial dos artigos até a triagem, elegibilidade e inclusão final. Essa abordagem permitiu uma avaliação criteriosa da qualidade das evidências, assegurando que apenas estudos relevantes e confiáveis fossem considerados na síntese dos dados (Rethlefsen, 2021).

Os critérios de inclusão foram estabelecidos para selecionar artigos que respondessem diretamente à questão norteadora da pesquisa. Foram considerados trabalhos que abordassem os descritores previamente definidos, estivessem disponíveis na íntegra, fossem revisados por pares, publicados em qualquer idioma e sem restrição temporal, ampliando assim o escopo da revisão.

Por outro lado, os critérios de exclusão foram aplicados para eliminar artigos que não respondessem à pergunta central do estudo e que não fossem de acesso aberto, garantindo a originalidade dos dados analisados. Essa filtragem contribuiu para a qualidade e a relevância da revisão.

Após a aplicação dos critérios e do método PRISMA, os estudos selecionados foram submetidos a uma análise detalhada, que permitiu a síntese das evidências sobre o uso de energias renováveis, especialmente solar e fotovoltaica, no contexto do agronegócio e da agroindústria. Essa análise revelou uma lacuna de conhecimento, indicando uma área promissora para pesquisas futuras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram identificados 221 artigos relacionados ao tema de interesse. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 150 artigos foram descartados, restando 72 estudos para análise mais detalhada.

Na etapa subsequente, dedicada à avaliação da elegibilidade, foram removidos os artigos duplicados, assegurando que cada publicação fosse considerada apenas uma vez no processo de revisão. Essa triagem foi essencial para manter a integridade e a qualidade da amostra.

Por fim, foram excluídos os artigos que não estavam alinhados com os objetivos específicos do estudo ou que não contribuíram significativamente para o avanço do conhecimento sobre a viabilidade econômica da energia fotovoltaica no agronegócio. Dessa forma, a amostra final ficou composta por 11 artigos, selecionados por sua relevância e rigor metodológico, oferecendo insights valiosos para a compreensão do tema.

Quadro 01 - Parte 1: Estudos incluídos na Revisão Sistemática da Literatura

Autor, ano	Principais Resultados
Montoya <i>et al.</i> (2024).	O estudo evidencia que, apesar do aumento do consumo total de energia e das emissões totais, o crescimento do uso de energias renováveis tem contribuído para mitigar os impactos ambientais. Contudo, o setor do agronegócio apresenta uma pegada energética e de carbono mais poluente, devido à alta intensidade de energia não renovável incorporada nas importações de insumos, o que eleva a poluição associada ao consumo final desse setor.
García <i>et al.</i> , (2023)	Analisaram quase 4 milhões de cenários com diferentes padrões de consumo, preços de energia e níveis de radiação solar. O dimensionamento ótimo dos sistemas energia fotovoltaica varia conforme a sazonalidade e o padrão de consumo em cada setor. Porém a possibilidade de realizar a venda do excedentes de energia pode aumentar a rentabilidade, mas depende de regulamentações locais. Contudo, o custo do investimento e a sazonalidade impactam fortemente o dimensionamento e retorno do investimento.
Mehdi <i>et al.</i> , (2023)	O presente estudo apresenta um modelo híbrido que combina redes convolucionais e redes recorrentes para previsão de radiação solar de curto prazo. Esse modelo superou métodos tradicionais, alcançando alta precisão e baixo erro nas previsões. Demonstrou robustez na captura de padrões temporais e sazonais da radiação solar. A acurácia geral foi de aproximadamente 96%. O estudo indica que essa abordagem pode ser aplicada em áreas maiores para melhorar o planejamento energético solar.
Suanpang <i>et al.</i> , (2022).	A combinação do algoritmo de otimização inspirado no kouprey (KIO) com nós inteligentes de energia possibilita uma gestão eficiente e sustentável da energia em pomares agrícolas. Contudo, o sistema integrado permite o uso combinado de energia limpa (solar) e energia elétrica tradicional, resultando em uma redução de cerca de 30% nos custos de mão de obra e 50% nos custos de energia para os agricultores e operadores do turismo comunitário.
Lin <i>et al.</i> , (2021).	O sistema baseado em reactive energy utilization technology Redução das perdas totais de energia e otimização do consumo, deste modo o método proposto alcançou alta precisão (96,7%) e eficiência (95,6%) na gestão energética e demonstra viabilidade e vantagens da integração entre agricultura inteligente e energia renovável.
Nabavi-Pelesaraei <i>et al.</i> , (2021).	A integração de sistemas solares na cadeia produtiva do óleo de girassol no Irã apresenta alta eficiência no emprego ambiental, promovendo o uso sustentável de energia renovável. A aplicação de tecnologias solares contribui para a redução do consumo de energia convencional e das emissões ambientais, além de melhorar a viabilidade econômica da produção de óleo por prensagem a frio.

Quadro 01 - Parte 2: Estudos incluídos na Revisão Sistemática da Literatura

Olaya <i>et al.</i> , (2020).	Os resíduos agroindustriais na Espanha possuem um significativo potencial energético, especialmente provenientes de culturas como azeitonas, trigo, arroz e resíduos de estufas. A valorização desses resíduos para produção de bioenergia pode contribuir para a redução do uso de combustíveis fósseis, mitigação de impactos ambientais e promoção da economia circular.
Viana <i>et al.</i> (2019).	Os resultados na instalação de sistemas fotovoltaicos em agroindústrias promovem uma redução significativa na demanda contratada fora do pico, o que contribui para a diminuição do consumo e dos custos com energia elétrica, impactando positivamente a redução dos custos de produção nesse setor econômico. O uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede pode melhorar o fator de carga em até 47%, indicando uma operação mais eficiente da demanda energética.
Braga (2016).	A energia solar fotovoltaica é apontada como uma fonte abundante e independente da rede elétrica, com potencial para expansão, porém ainda dependente de subsídios para viabilizar economicamente sua adoção em larga escala. A adoção dessas soluções pode aumentar a autossuficiência energética, a competitividade e a sustentabilidade do agronegócio.
Montoya <i>et al.</i> (2016).	A agroindústria utiliza predominantemente fontes renováveis e energia limpa, como produtos da cana-de-açúcar, lenha e eletricidade, o que indica um perfil energético relativamente sustentável dentro do setor. O estudo ressalta que o crescimento econômico do agronegócio enfrenta o desafio de conciliar alta produtividade com a redução dos impactos ambientais, especialmente as emissões de gases de efeito estufa, que são relevantes para o aquecimento global.
Gómez <i>et al.</i> , (2010).	O trabalho conclui que os resíduos agroindustriais na Espanha possuem um potencial energético significativo e que, com a aplicação adequada de tecnologias e políticas econômicas favoráveis, podem contribuir para a diversificação da matriz energética, redução do consumo de combustíveis fósseis e promoção da sustentabilidade ambiental no setor energético espanhol.

Fonte: Própria (2025)

Montoya *et al.* (2024) refere que o Brasil tem avançado significativamente na incorporação de fontes renováveis em sua matriz energética, demonstrando que a participação dessas fontes teve uma taxa de crescimento de 40,7% em 2000 para 47,6% em 2015, posicionando o país como referência global nesse aspecto. Esse crescimento foi impulsionado principalmente pela expansão da energia hidrelétrica e dos biocombustíveis, o que contribuiu para padrões de emissões mais sustentáveis, especialmente nos setores industrial, de serviços e

transporte.

Complementarmente, Montoya *et al.*(2016) destacam que, apesar do aumento do consumo total de energia e das emissões absolutas, a maior incorporação de renováveis tem mitigado parte dos impactos ambientais, com fontes renováveis representando 30,2% da pegada energética e 26,5% da pegada de carbono nacional no ano de 2015. Esses dados evidenciam o papel central e estratégico das políticas públicas voltadas para o incentivo à adoção de fontes de energia limpas, demonstrando como tais medidas são fundamentais para a promoção da sustentabilidade, a redução dos impactos ambientais e o avanço rumo a um modelo energético mais responsável e eficiente.

No contexto agrícola, Lin *et al.* (2021) propõem um sistema avançado de consumo energético para fazendas inteligentes baseado na tecnologia de Utilização de Energia Reativa. Desta forma o estudo demonstrou que a integração de fontes renováveis, como energia eólica e solar, com sistemas de controle inteligente, possibilitando um aumento significativo da eficiência energética das operações agrícolas, atingindo 96,7% de precisão e 95,6% de eficiência no consumo de energia, superando métodos tradicionais e reduzindo perdas. O modelo possibilita a integração da produção agrícola com sistemas de energia renovável tanto em nível local, como em estufas solares, quanto em nível remoto, por meio da conexão com microgrids (sistemas de geração e distribuição de energia em pequena escala) rurais. Essa abordagem contribui para a redução do desperdício energético, aproveitando excedentes para suprir demandas em horários de pico ou em regiões com baixa oferta de energia convencional.

A viabilidade prática dessa integração é reforçada pelo estudo de Suanpang *et al.* (2022), que reportam reduções de até 50% nos custos de energia e cerca de 30% nos custos de mão de obra em operações agrícolas com a implantação de sistemas baseados em energia solar e automação via smart energy nodes e Internet das Coisas (IoT). Conforme o estudo, a disponibilidade média de oito horas diárias de insolação na região estudada foi suficiente para suprir as demandas energéticas durante o dia e parte da noite, enquanto a automação permitiu o monitoramento e controle em tempo real de variáveis críticas como irrigação, temperatura, umidade e consumo energético, otimizando o uso dos recursos e minimizando desperdícios.

No âmbito das agroindústrias, é reforçado a viabilidade técnica e ambiental da utilização de energia solar fotovoltaica em pequenas propriedades, especialmente em regiões com bom potencial de irradiação solar. A autonomia energética proporcionada por esses sistemas reduz custos operacionais e aumenta a resiliência do centro de processamento diante de oscilações ou falhas no fornecimento da rede pública, contribuindo para a sustentabilidade da cadeia produtiva (Olaya *et al.*, 2020).

Ainda, Braga (2016) evidencia que tecnologias solares térmicas avançadas, como o SolarWall, que aumenta a taxa de captura de energia solar quando comparado com sistemas tradicionais, possuem grande potencial para transformar o setor agroindustrial, promovendo inovação, sustentabilidade e possibilitando maior competitividade. A alta eficiência na captura de energia solar e a versatilidade de suas aplicações contribuem para a redução da dependência de combustíveis fósseis, alinhando o agronegócio às metas globais de descarbonização.

No que tange à matriz energética do agronegócio brasileiro, a agroindústria utiliza energia “limpa”, com eletricidade representando 11,14% do consumo, enquanto produtos da cana, outras fontes primárias e lenha somam 80,53% do total energético consumido. Esses dados indicam um esforço relevante na utilização de fontes menos poluentes, mesmo em um setor intensivo em energia e emissões (Montoya *et al.*, 2016).

Por fim, os resíduos agroindustriais constituem uma fonte significativa e ainda subutilizada de biomassa para geração de eletricidade renovável em alguns países. A adoção de tecnologias adequadas, combinada a políticas de incentivo e à redução dos custos de investimento, pode ampliar substancialmente a participação desses resíduos na matriz energética nacional, contribuindo para o cumprimento das metas europeias de energia renovável (Gómez *et al.*, 2010).

CONCLUSÕES

A presente revisão sistemática evidencia que a energia fotovoltaica é uma alternativa estratégica e promissora para o agronegócio brasileiro, com impactos positivos tanto no aspecto ambiental quanto econômico. Seu uso contribui para a descarbonização do setor agroindustrial, promovendo padrões de emissões mais sustentáveis e alinhados às metas climáticas globais. O estudo, fundamentado em uma revisão sistemática da literatura, demonstra que a adoção dessa tecnologia reduz custos operacionais, aumenta a competitividade dos produtores e promove a sustentabilidade ambiental no campo, especialmente devido ao elevado potencial solar do Brasil e à disponibilidade de matéria-prima para fabricação de células fotovoltaicas.

A energia solar possibilita autonomia energética em propriedades rurais, tornando-as mais resilientes às oscilações do mercado e às limitações da rede elétrica convencional. A substituição de fontes fósseis por energia solar contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, modernização das cadeias produtivas e melhoria da qualidade de vida em regiões remotas. Além disso, a expansão da energia fotovoltaica tem impulsionado investimentos no setor rural, promovendo inovação, diversificação de receitas e maior segurança energética.

Apesar de seu potencial, o setor enfrenta desafios importantes para a consolidação dessa tecnologia, como o alto custo inicial de implantação, a necessidade de políticas públicas e incentivos econômicos mais robustos, e a carência de capacitação técnica entre produtores rurais. Barreiras de infraestrutura e a adaptação das redes elétricas rurais também dificultam a integração eficiente da energia solar. Superar esses obstáculos é fundamental para ampliar a adoção da tecnologia e garantir seus benefícios econômicos, ambientais e sociais de forma sustentável no campo.

Por fim, a energia fotovoltaica consolida-se como uma alternativa eficiente e sustentável para o agronegócio brasileiro, capaz de reduzir custos operacionais, aumentar a competitividade, promover sustentabilidade ambiental e impulsionar a geração de empregos no meio rural. Sua adoção proporciona autonomia energética, resiliência frente às oscilações do mercado e retorno financeiro atrativo, além de contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa e modernização das cadeias produtivas. A consolidação dessa tecnologia, entretanto, depende do fortalecimento de políticas públicas, incentivos econômicos e capacitação técnica para ampliar sua adoção no campo.

REFERÊNCIAS:

AZEVEDO, S.G.; SANTOS, M.; ANTÓN, J.R. Supply chain of renewable energy: A bibliometric review approach. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdã, v. 126, p. 70-83, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.022>

BRAGA, Francesco. Leadership in sustainable agribusiness, innovation, and solar thermal renewable energy: Opportunities for sustainable agribusiness. **International Journal on Food System Dynamics**, v. 7, n. 2, p. 143-182, 2016.

CORTES OLAYA, Javier Antonio; AROCA, Jhenkly Guiovani Matoma; GARRIDO, Alan Ernesto; RODRÍGUEZ SERREZUELA, Ruthber. Solar power plant design to support Ecomil LH300 at the coffee processing center "La Esperanza" in the municipality of La Plata. *ARPAN Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 15, n. 21, p. 2375-2387, 2020.

DA SILVA, Fernanda Chaveiro; DE SOUZA, Cleonice Borges. A REGULAÇÃO NORMATIVA DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL E SUA APLICABILIDADE EM GOIÁS: THE NORMATIVE REGULATION OF SOLAR ENERGY IN BRAZIL AND ITS APPLICABILITY IN GOIÁS. *Revista da Faculdade de Direito da UFG*, v. 48, n. 1, 2024.

DE CARVALHO, Rafael Rios; PINTO, Sérgio Roberto. Processo de planejamento tributário em uma empresa integradora fotovoltaica. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 19, n. 55, p. 188-207, 2024.

DELGADO, G. (1985). **Mudança Técnica Na Agricultura, Constituição Do Complexo Agroindustrial E Política Tecnológica Recente**. 2 (1), 79-97. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.Cct1985.V2.9249>

DIXIT, A., MUKHERJEE, S., BEHERA, D., SAXENA, A., & SHARMA, R. (2023). Princípios da energia solar fotovoltaica .intechopen.<https://doi.org/10.5772/intechopen.109730>

EPE -EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética E Elétrica Brasileira 2017 –Ano base 2016**. Disponível em <http://www.epe.gov.br>. Acesso em 29 Jun. 2024.

FRANCISCO, Alan Paulo et al. Impactos da energia solar na área rural. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 7, p. e3542-e3542, 2024.

GARCÍA, José L. et al. **Feasibility of photovoltaic systems for the agrifood industry in the new energy and climate change context**. *Agronomy*, v. 13, n. 10, p. 2620, 2023.

GÓMEZ, Antonio et al. An estimation of the energy potential of agro-industrial residues in Spain. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 11, p. 972-984, 2010.

GREENPEACE. **Energia**. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/brasil/energia/>. Acesso em 29 Jan.. 2024.

HEIN, AF E SILVA, NLSD (2019). **A insustentabilidade na agricultura familiar e o êxodo rural contemporâneo**. *Estudos Sociedade e Agricultura*, 27 (2), 394–417. <https://doi.org/10.36920/esa-v27n2-8>

JOSÉ DONATO, C., XAVIER MARTINS, L., DE LIMA SILVA, E., MULLER, T., VEIGA UZELOTO, T., MOREIRA DA SILVA, L., FERREIRA VIEIRA, M., DA SILVA CAIRES, I., & GUILHERME ODILON DO NASCIMENTO, H. (2018). **O Setor De Agronegócios E Alguns De Seus Desafios**. *Colóquio Agrariae março-abril, 2020 , 14* (Especial), 38–42. <https://doi.org/10.5747/ca.2018.v14.nesp.000255>

JUNIOR, Lima; MOTA, Elias. A energia fotovoltaica no agronegócio: gestão de custos e riscos, diversificação de receita e externalidades. 2019.

JURASZ, J.; CAMPANA, P. E. **The potential of photovoltaic systems to reduce energy costs for office buildings in time-dependent and peak-load-dependent tariffs**. *Sustainable cities and society*,Amsterdã,v. 44, p. 871-879, jan. 2019.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.048>

KRUGER, Silvana Dalmutt; ZANELLA, Cleunice; BARICHELO, Rodrigo. Análise da viabilidade econômico-financeira para implantação de projeto de produção de energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 1, p. 428-445, 2023.

LIN, Xiaochan et al. Advanced energy consumption system for smart farm based on reactive energy utilization technologies. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 86, p. 106496, 2021.

MARIN, F.R.; PILAU, F.G.; SPOLADOR, H.F.; OTTO, R.; PEDREIRA, C.G. **Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050**. *Revista de Política Agrícola*, v. 25, n. 3, p. 108-124, 2016.

MICHELETTI, Danilo Hungaro et al. A contribuição da energia solar fotovoltaica para o desenvolvimento rural sustentável. 2023.

MOI, Paula Cristina Pedroso et al. A geografia da produção agropecuária brasileira: um olhar sustentável. 2024.

MONTOYA, Marco Antonio et al. Brazilian energy and carbon footprints: structural changes and sectoral contributions to climate change. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-31, 2024.

MONTOYA, Marco Antonio et al. Consumo de energia, emissões de CO2 e a geração de renda e emprego no agronegócio brasileiro: uma análise insumo–produto. **Economia Aplicada**, v. 20, n. 4, p. 383-413, 2016.

MUTHUSAMY, P., & ARIVUDAINAMBI, J. (2022). **Avaliação de células solares fotovoltaicas usando o método DEMATEL**. 2, 1 (2), 94–101. <https://doi.org/10.46632/rne/1/2/5>

NABAVI-PELESARAEI, Ashkan et al. Prospects of solar systems in production chain of sunflower oil using cold press method with concentrating energy and life cycle assessment. **Energy**, v. 223, p. 120117, 2021.

NESHAT, Mehdi et al. **Short-term solar radiation forecasting using hybrid deep residual learning and gated LSTM recurrent network with differential covariance matrix adaptation evolution strategy**. **Energy**, v. 278, p. 127701, 2023.

OLIVEIRA, G., SILVA, V., & ALTOÉ, L. (2021). **Análise do uso da energia fotovoltaica em universidades**. 11 (31), 44–54. <https://doi.org/10.25242/885x113120212261>

Paulista, CR, Rangel, JJDA, & Machado, TS (2017). **Análise da expansão da geração elétrica fotovoltaica e emissões de dióxido de carbono**. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 3 (1), 12–25. <https://doi.org/10.32358/rpd.2017.v3.208>

RETHLEFSEN, Melissa L. et al. **PRISMA-S: uma extensão da declaração PRISMA para relatar pesquisas bibliográficas em revisões sistemáticas**. **Revisões sistemáticas**, v. 10, p. 1-19, 2021.

SOKULSKI, Carla Cristiane et al. Investimento em sistemas de energia renovável no agronegócio com base nos princípios da economia circular. 2023.

SOUSA, M.; MORGADO, S. **Avaliação da viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica: estudo de caso da polícia de segurança pública**. v. 2, p. 48-67, 1º jan. 2019. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/uiips/article/view/19283/14807>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SUANPANG, Pannee et al. Integration of kouprey-inspired optimization algorithms with smart energy nodes for sustainable energy management of agricultural orchards. **Energies**, v. 15, n. 8, p. 2890, 2022.

VIANA, Lucas de A. et al. Decrease in off-peak electrical energy demand by agroindustries

due to photovoltaic solar generation. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 4, p. 537-547, 2019.