

SISTEMAS AGRIVOLTAICOS NO BRASIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE O POTENCIAL DO SOMBREAMENTO DINÂMICO

ALLAN LOPES DA SILVA ¹; GUILHERME LEITE GAUDERETO²

¹Universidade São Judas Tadeu – USJT (rallan2002lopes@gmail.com)

²Universidade São Judas Tadeu – USJT (guilherme.gaudereto@saojudas.br)

RESUMO

Este estudo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre sistemas agrivoltaicos no Brasil, avaliando seu desempenho técnico, econômico e ambiental, bem como seu potencial de contribuição para a Agenda 2030. Os resultados demonstram elevada eficiência do uso da terra, com LER médio de 1,36, indicando que o cultivo associado à geração fotovoltaica é mais produtivo do que atividades isoladas. Evidências apontam benefícios ambientais consistentes, como aumento de até 47% na eficiência do uso da água e redução média de 32,6% na evapotranspiração. Do ponto de vista econômico, os sistemas analisados apresentam VPL positivo, TIR superior à TMA e payback entre 4 e 8 anos. Apesar de desafios técnicos, regulatórios e agronômicos, emerge o conceito de sombreamento dinâmico, capaz de modular a radiação solar conforme condições climáticas e fenológicas, reduzindo riscos e ampliando a eficiência do sistema.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica; Sombreamento dinâmico; Agricultura Fotovoltaica.

INTRODUÇÃO

A integração entre geração fotovoltaica e produção agrícola tem emergido como uma estratégia promissora para enfrentar desafios energéticos, climáticos e produtivos, especialmente em regiões tropicais onde a competição pelo uso da terra é crescente (EBHOTA; TABAKOV, 2024; PEÑA-CALZADA et al., 2025). No Brasil, essa discussão é particularmente relevante diante da necessidade de ampliar a participação de energias limpas, promover a resiliência climática dos sistemas agrícolas e fortalecer a segurança alimentar, demandas já apontadas por organizações como FAO (2019) e Embrapa (2022).

Nesse contexto, os sistemas agrivoltaicos combinam estruturas fotovoltaicas e cultivos agrícolas na mesma área, produzindo sinergias avaliadas por indicadores como o *Land Equivalent Ratio* (LER), cujos valores frequentemente superiores a 1 evidenciam ganhos de eficiência do uso do solo (STEFANI, 2024; CHOI et al., 2021).

Além da maior produtividade por área, estudos recentes identificam benefícios ambientais significativos, como aumento da eficiência no uso da água (20–47%) e redução média de 32,6% na evapotranspiração, favorecendo sistemas agrícolas mais resilientes em cenários de estresse hídrico (OMER et al., 2025; CASAGRANDE, 2023).

O presente estudo, desenvolvido no âmbito de um projeto de Iniciação Científica, apresenta resultados parciais de uma revisão sistemática da literatura sobre sistemas agrivoltaicos no Brasil. A partir do objetivo geral, formula-se a pergunta de pesquisa que orienta a investigação: quais evidências a literatura científica apresenta sobre o desempenho, os desafios e o potencial dos sistemas agrivoltaicos no contexto brasileiro, e de que forma esses achados contribuem para o aprimoramento do sombreamento dinâmico? A relevância da pesquisa reside em oferecer uma síntese crítica das evidências disponíveis, contribuindo para decisões técnicas, econômicas e regulatórias que sustentem a expansão sustentável da agrivoltaica e sua articulação com a Agenda 2030.

METODOLOGIA

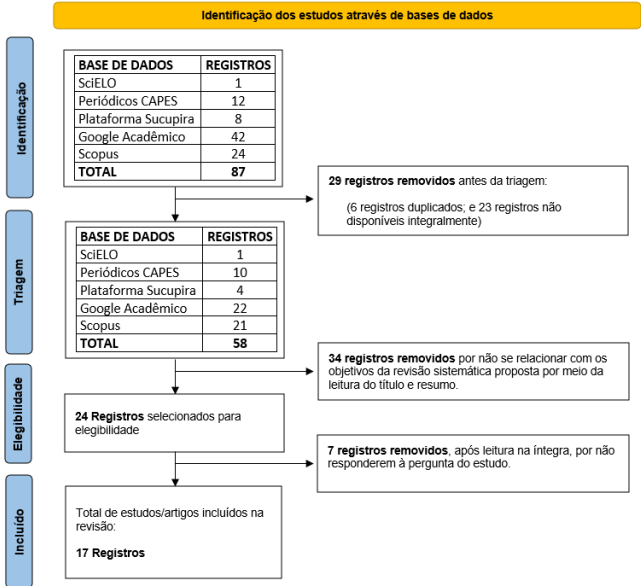
A pesquisa, de natureza teórica, descritiva e exploratória, foi desenvolvida no âmbito de um projeto de Iniciação Científica, cujo objetivo geral é realizar uma revisão sistemática da literatura sobre sistemas agrivoltaicos no contexto brasileiro, identificando seus benefícios, desafios e indicadores de desempenho, bem como sua contribuição para o sombreamento dinâmico. A condução metodológica seguiu os princípios de rigor, transparência e reprodutibilidade recomendados para revisões sistemáticas.

A formulação da pergunta de pesquisa e dos critérios de elegibilidade utilizou o modelo PEO (População, Exposição, Outcome): A busca bibliográfica contemplou produções nacionais e internacionais entre 2021 e 2025, utilizando cinco bases: Scopus, SciELO, Google Scholar, Periódicos CAPES e Plataforma Sucupira. Foram empregados descritores bilíngues estruturados a partir do PEO, combinados por operadores booleanos (AND, OR) e truncamentos. A estratégia principal em inglês incluiu termos como: "agrovoltaic" OR "agrivoltaic" OR "agrophotovoltaic" OR "dual land use") AND (agriculture* OR crop* OR cultivation*); AND ("Brazil" OR "tropical" OR "Latin America"); AND (PUBYEAR > 2021 AND PUBYEAR < 2026).

A busca em português utilizou equivalentes como “sistemas agrivoltaicos”, “energia fotovoltaica na agricultura”, “uso duplo da terra”, entre outros.

A extração dos dados foi conduzida por meio de um formulário padronizado que registrou informações como identificação do estudo (autor, ano, base e país), tipo de sistema agrivoltaico analisado, indicadores de desempenho energético, produtivo e ambiental, viabilidade econômica (incluindo VPL, TIR e payback), desafios técnicos e regulatórios, além de suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A análise seguiu uma abordagem quali-quantitativa, combinando síntese descritiva e comparação dos indicadores reportados pelos estudos. Entre esses, destacou-se o Land Equivalent Ratio (LER) como métrica central para avaliar a eficiência do uso combinado do solo, assim como parâmetros ambientais, tais como eficiência no uso da água e redução da evapotranspiração.

Figura 1: Fluxograma PRISMA



Fonte: Autores (2025)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão sistemática identificou estudos publicados entre 2021 e 2025, com predominância de pesquisas brasileiras ou desenvolvidas em regiões tropicais semelhantes. De modo geral, os trabalhos convergem ao apontar que a agrivoltaica apresenta desempenho técnico, ambiental e econômico consistente, configurando-se como estratégia promissora para o uso eficiente da terra ao integrar produção agrícola e geração fotovoltaica.

Do ponto de vista técnico, o indicador mais recorrente foi o Land Equivalent Ratio (LER), cujo valor médio de 1,36 demonstra que o uso integrado do solo supera o desempenho de sistemas agrícolas e fotovoltaicos isolados. Os estudos também evidenciam benefícios ambientais expressivos, como aumento de 20% a 47% na eficiência do uso da água e redução média de 32,6% na evapotranspiração, reforçando a maior resiliência dos cultivos frente ao estresse térmico e hídrico.

A análise econômica revela viabilidade robusta, com cenários apresentando VPL positivo, TIR superior à TMA e payback entre 4 e 8 anos, resultados que indicam potencial de adoção tanto por pequenos quanto por grandes produtores. Entretanto, foram identificados desafios importantes, como o CAPEX elevado, falta de regulamentação específica e barreiras socioculturais que podem limitar a expansão da tecnologia no Brasil.

No campo agrônomo, o principal entrave é o risco de sombreamento excessivo, que pode reduzir a produtividade de culturas sensíveis, embora espécies mais tolerantes possam apresentar ganhos de até 30% sob sombreamento controlado. Esses limites reforçam a importância do sombreamento dinâmico, solução teórica que permite modular a radiação solar conforme o estágio fenológico e as condições climáticas, potencializando a eficiência produtiva, hídrica e energética dos sistemas agrivoltaicos.

CONCLUSÕES

Nesse cenário, o sombreamento dinâmico ganha força como a solução tecnológica-chave para impulsionar a expansão da agricultura fotovoltaica no país. Embora as análises se baseiem em dados generalistas de estruturas agrivoltaicas, é evidente o potencial dessa tecnologia como alternativa viável e escalável. Ainda assim, a conclusão sobre sua plena viabilidade permanece parcial, devido à complexidade do tema e à escassez de estudos práticos. De todo modo, os dados coletados indicam uma perspectiva positiva. Ao permitir o ajuste inteligente da radiação solar conforme o estágio da cultura, as variáveis climáticas e as metas energéticas, o sistema não apenas corrige limitações como o sombreamento excessivo, mas também maximiza os benefícios. Ressalta-se a necessidade de estudos experimentais em escala operacional, a fim de validar as evidências teóricas e os dados analisados neste trabalho, bem como aperfeiçoar o conceito de sombreamento dinâmico como solução viável de forma técnica e econômica para o país.

REFERÊNCIAS

CANTRELL, Sarah. **LibGuides: Systematic Reviews: 2. Develop a Research Question**. Disponível em: <<https://guides.mclibrary.duke.edu/sysreview/question>>. Acesso em: 27 out. 2025.

ALIABAKER OMER, Altyeb et al. **Impacts of agrivoltaic systems on microclimate, water use efficiency, and crop yield: A systematic review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 221, p. 115930, out. 2025. Acesso em: 27 out. 2025.

CARVALHO, Gabriel. **Uso de sistemas agrivoltaicos para geração de renda em áreas suscetíveis a desertificação**. 2023. Acesso em: 27 out. 2025.

CASAGRANDE, Mariani Corrêa. **Agrovoltaico: Aplicação e Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos na Agricultura**. 2023. Acesso em: 27 out. 2025.

CHOI, Chong Seok et al. **Combined land use of solar infrastructure and agriculture for socioeconomic and environmental co-benefits in the tropics**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 151, p. 111610, nov. 2021. Acesso em: 27 out. 2025.

EBHOTA, W. S.; TABAKOV, P. Y. **Leveraging agrivoltaics to increase food, energy, and water access in the global south: a case study Sub-Saharan Africa**. Nigerian Journal of Technology, v. 43, n. 2, p. 364–380, 19 jul. 2024. Acesso em: 27 out. 2025.

FAO. **FAO alerta que desaparecimento da biodiversidade ameaça produção de alimentos | As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/82489-fao-alerta-que-desaparecimento-da-biodiversidade-amea%C3%A7a-produ%C3%A7%C3%A3o-de-alimentos>>. Acesso em: 27 out. 2025.

FERREIRA JUNIOR, Ricardo Araujo et al. **Agrophotovoltaic systems in sugarcane crop – A Brazilian case study**. Energy Conversion and Management, v. 344, p. 120307, nov. 2025. Acesso em: 27 out. 2025.

PAGE, Matthew J. et al. **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews**. BMJ, v. 372, p. n71, 29 mar. 2021. Acesso em: 27 out. 2025.

PEÑA-CALZADA, Kolima et al. **Advances and challenges of agrivoltaic in the Americas: a look at its current situation**. Agroforestry Systems, v. 99, n. 1, p. 8, jan. 2025. Acesso em: 27 out. 2025.

REEZA, Ameera Abdul et al. **Shading Effect of Photovoltaic Panels on Growth of Selected Tropical Vegetable Crops**. Scientia Horticulturae, v. 324, p. 112574, jan. 2024. Acesso em: 27 out. 2025.

SALAMANCA FALLA, Carlos Harvey; BABATIVA TORRES, Juan Sebastian; BAHAMON SÁENZ, Andrés David. **VIABILIDAD ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS AGRIVOLTAICOS EN COLOMBIA**. Semestre Económico, v. 27, n. 62, p. 1–20, 30 abr. 2024. Acesso em: 27 out. 2025.

SILVA, Felipe Marques Da. **AVALIAÇÃO DE SISTEMAS AGRIVOLTAICOS NA PRODUÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS**. 2024. Acesso em: 27 out. 2025.

STEFANI, Mario Antonio. **Projeto Piloto de Sistema Agro Fotovoltaico Aplicado ao Setor Sucroenergético**. 2024. Acesso em: 27 out. 2025.

TAVARES, Iran Butel. **Estudo da aplicação da tecnologia agrovoltáica numa comunidade rural na cidade de Manaus**. 2023. Acesso em: 27 out. 2025.

VIDOTTO, Laís Cassanta et al. **An evaluation of the potential of agrivoltaic systems in Brazil**. Applied Energy, v. 360, p. 122782, abr. 2024. Acesso em: 27 out. 2025.

VU, Ngoc-Hai et al. **Development and optimization of red spectrum splitting concentrated agrivoltaic system for energy generation and sustainable agriculture**. PLOS One, v. 20, n. 9, p. e0332865, 22 set. 2025. Acesso em: 27 out. 2025.