
Artículos

Conciliando produção de energia fotovoltaica e agronegócio:
Desafios para o crescimento energético sustentável e uso do solo
para produção agrícola



Reconciling Photovoltaic Energy Production and Agribusiness:
Challenges for Sustainable Energy Growth and Land Use for
Agricultural Production

Conciliando la Producción de Energía Fotovoltaica y el
Agronegocio: Desafíos para el Crecimiento Energético
Sostenible y el Uso del Suelo para la Producción Agrícola

André Barra Neto

Universidade Federal de Catalão - UFCAT, Brasil
andrebarra@ufcat.edu.br

Álvaro Guilherme Rocha

Universidade Federal de Catalão - UFCAT, Brasil
alvaro@discente.ufcat.edu.br

Bruno Garcia de Oliveira

Universidade Federal de Catalão - UFCAT, Brasil
brunogarcia@ufcat.edu.br

**Estudios Rurales. Publicación del Centro de Estudios
de la Argentina Rural**

vol. 14, núm. 30, 2024

Universidad Nacional de Quilmes, Argentina

ISSN: 2250-4001

Periodicidad: Semestral

estudiosrurales@unq.edu.ar

Recepción: 20 Diciembre 2023

Aprobación: 17 Septiembre 2024

DOI: <https://doi.org/10.48160/22504001er30.540>

URL: <https://portal.amelica.org/ameli/journal/181/1815011013/>

Resumen: Este estudio analizó un desafío enfrentado por Brasil: la introducción de sistemas fotovoltaicos en sus tierras agrícolas. En este contexto, la investigación destacó la necesidad de explorar estrategias sostenibles e innovadoras para integrar eficientemente la energía solar en el agronegocio brasileño, considerando el papel central de Brasil en el agronegocio mundial y la importancia de sus áreas agrícolas para el desarrollo de fuentes de energía renovable. La investigación abordó esta cuestión a través del análisis de 4,741 artículos revisados por pares, publicados en inglés, con el objetivo de evaluar la existencia de políticas públicas y regulaciones para proyectos de energía fotovoltaica en tierras agrícolas brasileñas. Los resultados revelaron una brecha significativa en este aspecto, destacando la ausencia de directrices específicas para la regulación de plantas fotovoltaicas en áreas destinadas a la producción agrícola. Esta falta de orientación regulatoria fue identificada como uno de los principales desafíos para la implementación sostenible de estos proyectos. Para superar esta barrera, el estudio propone promover diálogos entre el gobierno, los productores rurales, la sociedad civil y el sector fotovoltaico, con el objetivo de formular políticas públicas que promuevan la integración armoniosa de la energía fotovoltaica en las tierras agrícolas. El estudio ofrece una contribución significativa al debate sobre el uso de tierras agrícolas en la generación de energía, resaltando la importancia de soluciones que concilien el agronegocio y la expansión de la energía solar, con miras al desarrollo sostenible del agronegocio brasileño.

Palabras clave: energía fotovoltaica, agronegocio, sostenibilidad, uso de tierras agrícolas.

Resumo: Este estudo analisou um desafio enfrentado pelo Brasil: a introdução de sistemas fotovoltaicos em suas terras agrícolas. Nesse contexto, a pesquisa destacou a necessidade de explorar estratégias sustentáveis e inovadoras para integrar eficientemente a energia solar no agronegócio brasileiro, considerando o papel central do Brasil no agronegócio mundial e a importância de suas áreas agrícolas para o desenvolvimento de fontes renováveis de energia. A pesquisa abordou essa questão por meio da análise de 4.741 artigos revisados por pares, publicados em inglês, com o intuito de avaliar a existência de políticas públicas e regulamentações para projetos de energia fotovoltaica em terras agrícolas brasileiras. Os resultados revelaram uma lacuna significativa nesse aspecto, destacando a ausência de diretrizes específicas para a regulação de usinas fotovoltaicas em áreas destinadas à produção agrícola. Esta falta de orientação regulatória foi identificada como um dos principais desafios para a implementação sustentável desses projetos. Para superar essa barreira, o estudo propõe a promoção de diálogos entre governo, produtores rurais, sociedade civil e o setor fotovoltaico, com o objetivo de formular políticas públicas que promovam a integração harmoniosa da energia fotovoltaica nas terras agrícolas. O estudo oferece uma contribuição significativa para o debate sobre o uso de terras agrícolas na geração de energia, ressaltando a importância de soluções que conciliam o agronegócio e a expansão da energia solar, visando o desenvolvimento sustentável do agronegócio brasileiro.

Palavras-chave: energia fotovoltaica, agronegócio, sustentabilidade, uso de terras agrícolas.

Abstract: This study analyzed a challenge faced by Brazil: the introduction of photovoltaic systems in its agricultural lands. In this context, the research highlighted the need to explore sustainable and innovative strategies to efficiently integrate solar energy into Brazilian agribusiness, considering Brazil's central role in global agribusiness and the importance of its agricultural areas for the development of renewable energy sources. The research addressed this issue by analyzing 4,741 peer-reviewed articles published in English, aiming to assess the existence of public policies and regulations for photovoltaic energy projects on Brazilian agricultural lands. The results revealed a significant gap in this regard, highlighting the absence of specific guidelines for the regulation of photovoltaic plants in areas designated for agricultural production. This lack of regulatory guidance was identified as one of the main challenges for the sustainable implementation of these projects. To overcome this barrier, the study proposes promoting dialogues between the government, rural producers, civil society, and the photovoltaic sector, with the objective of formulating public policies that promote the harmonious integration of photovoltaic energy on agricultural lands. The study offers a

significant contribution to the debate on the use of agricultural lands in energy generation, emphasizing the importance of solutions that reconcile agribusiness and the expansion of solar energy, aiming at the sustainable development of Brazilian agribusiness.

Keywords: photovoltaic energy, agribusiness, sustainability, agricultural land use.

INTRODUÇÃO

A necessidade de descarbonização do setor elétrico, o aumento dos custos de energia ao consumidor e a realização de acordos internacionais para promover a redução dos gases de efeito estufa impulsionaram a busca por fontes renováveis de energia. Entre as fontes mais utilizadas estão biomassa, energia hidrelétrica, geotérmica, eólica e solar. Com a redução dos custos dos sistemas fotovoltaicos e das despesas de instalação, juntamente com a crescente conscientização sobre a transição para fontes de energia sustentáveis, a energia solar se destaca como uma solução viável e estratégica.

Em 2021, a energia fotovoltaica contribuiu com 3,6% de toda a geração de energia elétrica global, equivalente a aproximadamente 1 terawatt-hora (Maka e Alabid, 2022). As projeções indicam um crescimento significativo, estimando que a capacidade instalada atinja 8.500 gigawatts até 2050 (Gielen et al., 2019). Essa ascendente tendência global na energia solar fotovoltaica também se reflete no contexto brasileiro, onde o país conta com 28,9 megawatts de potência instalada, representando expressivos 13,1% da matriz energética nacional (ABSOLAR, 2023).

A energia solar no Brasil tem ganhado força no contexto agrícola, com agricultores adotando sistemas fotovoltaicos devido aos benefícios econômicos, como a redução nos custos de produção e a utilização de áreas não produtivas para geração de energia (Malaquias et al., 2023). Contudo, essa tecnologia exige grandes áreas de captação de radiação solar, com projetos de grande porte ocupando desde centenas até milhares de hectares, dependendo de sua capacidade (Katkar *et al.*, 2021).

À medida que a energia solar se expande no Brasil, especialmente em terras agrícolas, uma série de fatores influenciam as decisões sobre a localização dos empreendimentos. Entre essas considerações estão o equilíbrio entre a geração de energia e a manutenção da produção agrícola, além da diversificação das fontes de renda (Moore *et al.*, 2022).

Este artigo se baseia nas distinções de agricultura e agronegócio elaboradas por Davis e Goldberg (1957) que compreendem a agricultura, e conseqüentemente as terras agricultáveis, como um dos componentes do agronegócio, especificamente no elo "dentro da porteira" (Batalha, 2010). O Brasil desempenha um papel relevante no agronegócio, sendo atualmente o maior produtor mundial de soja, com uma colheita de 156 milhões de toneladas na safra 2022/23, representando 42,2% da safra mundial (USDA, 2023). No setor de carnes, o país produziu 10,35 milhões de toneladas de carne bovina, exportando 2,89 milhões de toneladas (USDA, 2023), consolidando sua posição como um dos principais exportadores globais de grãos e carnes.

Conforme relatório da consultoria PwC (2013), a importante contribuição do Brasil para o agronegócio global é inquestionável. O país ocupa a terceira posição no ranking de maior exportador mundial de produtos agropecuários, atrás apenas da União Europeia e Estados Unidos (Confederação Nacional da Agricultura, 2024). Assim, o potencial conflito entre o uso de terras produtivas para a geração de energia e a produção agrícola no Brasil pode acarretar conseqüências globais.

Com o propósito de oferecer suporte a decisões tanto no âmbito empresarial quanto governamental, este estudo propõe realizar uma revisão sistemática da literatura. O foco é explorar o trade-off entre a produção agrícola e a geração de energia, analisando as implicações sociais, econômicas e políticas. Desta forma, o estudo se dedica a identificar este potencial trade-off entre a produção agrícola e a geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos em terras agrícolas no Brasil. Além disso, busca abordar as implicações sociais e políticas inerentes a essa complexa problemática, com o intuito de fornecer insights valiosos para enfrentar esse desafio multifacetado.

REFERENCIAL TEÓRICO

A energia fotovoltaica tem apresentado crescimento exponencial em todo o mundo, impulsionada pela necessidade de descarbonização das economias e pela busca por fontes renováveis de energia. Em 2022, a capacidade global acumulada de energia solar fotovoltaica atingiu a marca de 1,2 terawatts (TW), registrando um aumento significativo de 240 gigawatts (GW) em 2021 (IRENA, 2023). A China lidera a lista global de potência instalada para geração de energia solar, alcançando 392 GW, enquanto o Brasil alçou-se para a oitava posição mundial, com 28,9 GW de potência instalada (IRENA, 2023).

À medida que a implementação de sistemas fotovoltaicos se expande globalmente, a questão dos conflitos de uso da terra entre a produção agrícola e a geração de energia torna-se proeminente (Katkar *et al.*, 2021). A localização estratégica desses empreendimentos requer condições geográficas favoráveis, incluindo incidência solar, topografia adequada e insolação abundante.

Pesquisadores como Sargentis *et al.* (2021) apontam que as terras agrícolas são particularmente adequadas para a implantação de sistemas fotovoltaicos, devido à sua topografia relativamente plana, insolação abundante e condições climáticas moderadas. No entanto, as mesmas áreas são frequentemente alvo de investidores em parques solares de grande escala, sendo estimado que um parque solar de 1 MW requer aproximadamente 2,6 hectares de área de desenvolvimento, como observado em um estudo realizado na Planície da Tessália, Grécia.

A necessidade de expandir a capacidade energética está diretamente ligada ao aumento populacional, mas é crucial considerar a demanda internacional por alimentos. O UNICEF (2021) destaca que 670 milhões de pessoas ainda enfrentarão a fome até 2030, e a situação é agravada pelos impactos da guerra na Ucrânia, que interrompe as cadeias de suprimentos internacionais.

O Brasil, com sua vasta disponibilidade de terras e excelente potencial solar, tem se destacado na expansão da energia renovável. No entanto, o uso dessas terras para geração de energia solar levanta questões sobre o impacto no agronegócio, setor no qual o país ocupa uma posição de liderança global. Sendo o maior exportador mundial de soja e um dos principais produtores de milho e carne bovina (USDA, 2023), a gestão sustentável dessas terras torna-se essencial para equilibrar a produção agrícola e a geração de energia.

O impacto da implantação de sistemas fotovoltaicos em terras agrícolas é, portanto, uma questão crucial para o Brasil, considerando seu papel de destaque no mercado internacional de alimentos. O país representou 52% das exportações globais de soja na safra 2021-2022, além de contribuir significativamente para a produção de outros produtos agropecuários (USDA, 2023).

Diante desse cenário, torna-se fundamental avaliar os impactos da implementação de sistemas fotovoltaicos em terras agrícolas no Brasil. Uma das soluções mais promissoras é a adoção dos sistemas agrivoltaicos, propostos por Dupraz *et al.* (2011), que permitem a conciliação entre a produção agrícola e a geração de energia no mesmo espaço. No entanto, a adoção dessa tecnologia enfrenta desafios, especialmente relacionados à sombra gerada pelos painéis fotovoltaicos, que pode reduzir a produtividade de algumas culturas em comparação com o cultivo em campo aberto e até influenciar a qualidade dos alimentos (Weselek *et al.*, 2019).

A resistência de alguns agricultores à prática dos agrivoltaicos reflete a complexidade do tema (Moore *et al.*, 2022). A fim de mitigar os possíveis impactos negativos, como a concentração de fazendas solares em determinadas áreas, medidas governamentais e administrativas são sugeridas por Katkar *et al.* (2021), que incluem a criação de políticas de incentivo e regulamentações adequadas.

Assim, a busca por soluções sustentáveis exige uma gestão cuidadosa dos trade-offs envolvidos. A eficiência energética deve ser promovida sem comprometer a produção agrícola, e as decisões tomadas precisam levar em consideração os conflitos entre objetivos concorrentes, como demonstram Morrison-Saunders e Pope (2013).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo pode ser classificado como descritivo, pois, de acordo com a definição de Vergara (2006), ele apresenta características específicas de um fenômeno, ou seja, descreve os principais aspectos das publicações científicas sobre o potencial impacto na produção de alimentos, considerando o desafio da expansão das usinas fotovoltaicas em terras agrícolas. Quanto à abordagem metodológica, utilizando as categorias propostas por Richardson (2008), o estudo é caracterizado como qualitativo.

A abordagem qualitativa foi escolhida para fundamentar a coleta de dados necessários à construção de um Portfólio Bibliográfico. Com o objetivo de explorar as questões apresentadas na pesquisa, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura. Conforme a definição de Cook, Mulrow e Haynes (1997), uma revisão sistemática propõe um processo científico replicável e transparente, permitindo estabelecer uma base que contribui para o avanço do conhecimento em um campo específico e o desenvolvimento de teorias.

Para tal análise, utilizamos o método ProKnow-C para a construção do portfólio bibliográfico, que nos permitiu focar nas publicações mais relevantes sobre o impacto da energia fotovoltaica em terras agrícolas.

Estudos acadêmicos em distintas áreas têm empregado o método Proknow-C, para criação de um portfólio bibliográfico com os artigos mais relevantes do tema da pesquisa, portanto, para que o objetivo deste trabalho pudesse ser alcançado, adotou-se a técnica de revisão sistemática de literatura, utilizando o instrumento de intervenção Knowledge Development Process - Construtivist (ProKnow-C), proposto por Ensslin, Ensslin, Lacerda e Tasca (2010), para guiar o processo de busca e seleção dos artigos.

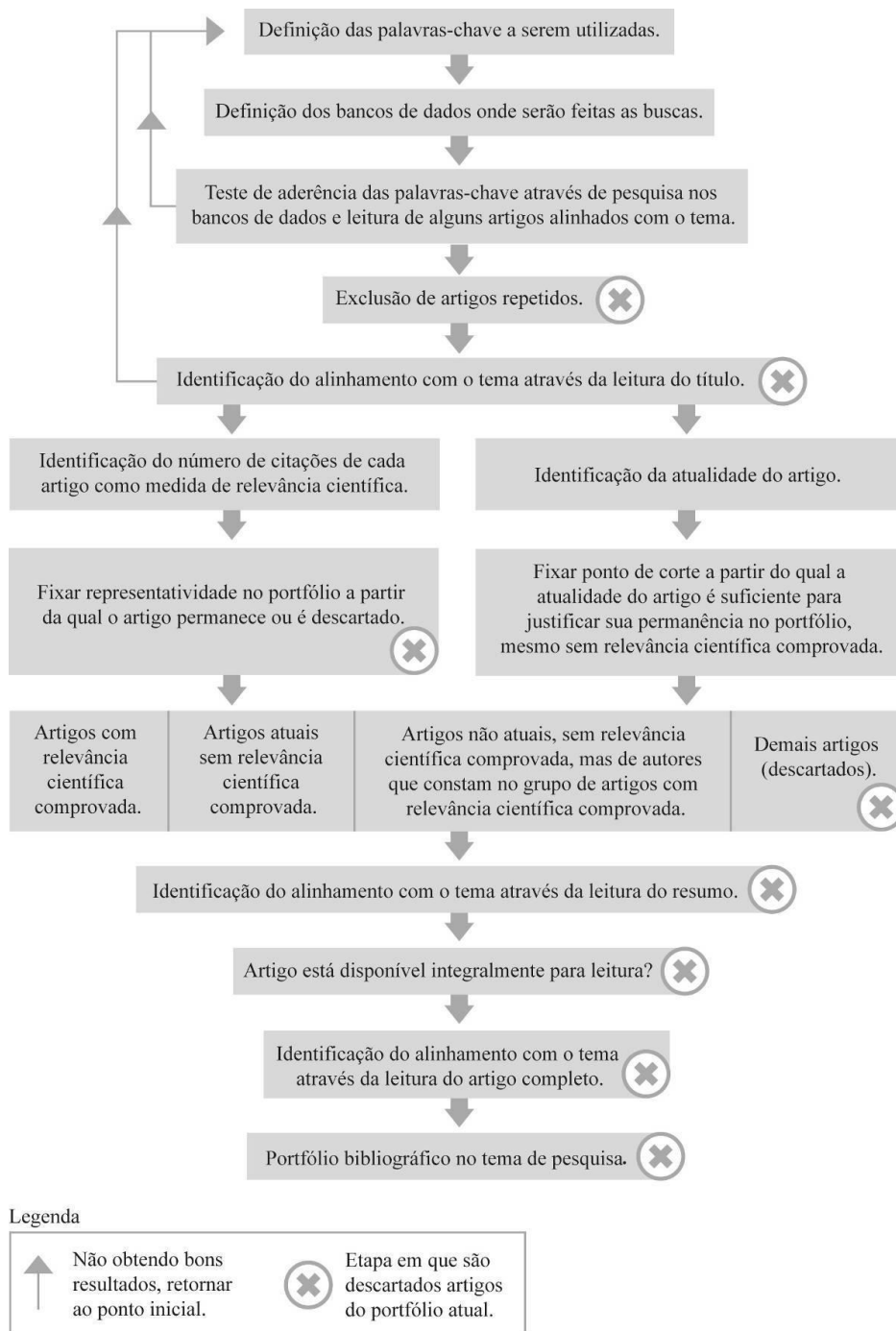


Figura 1
 Metodologia de construção do conhecimento Proknow-C
 Fonte: Ensslin *et al.* (2010)

No presente estudo utiliza-se as fases:
 a) Seleção do Portfólio Bibliográfico

Após a definição do tema da pesquisa, foram determinadas as palavras-chave necessárias para a busca de artigos científicos relevantes. Na sequência, verificou-se a adequação das palavras-chave ao tema da pesquisa e conduziu-se a busca de artigos na base de dados selecionada, resultando na construção do Portfólio Bibliográfico.

Para formatar o PB, seguiram-se três etapas. Primeiramente, eliminaram-se os artigos duplicados. Em seguida, analisaram-se os títulos dos artigos para descartar aqueles que não se alinhavam ao tema. Na terceira etapa, avalia-se a relevância científica dos artigos, baseando-nos no número de citações de cada artigo. Foi estabelecido um ponto de corte de 80%, calculando assim a representatividade de cada artigo no PB. Os artigos classificados como reconhecidos cientificamente passam por uma análise do resumo, e aqueles alinhados com o tema permanecem no PB. Nessa fase, cria-se uma lista de autores desses artigos, formando o banco de autores. Para artigos cuja relevância ainda não está confirmada, considera-se o ano de publicação.

Artigos publicados nos últimos três anos são submetidos a uma nova análise de resumo. Nos artigos mais antigos, verifica-se se algum dos autores faz parte do banco de autores formado pelos artigos com relevância científica já confirmada. Em caso afirmativo, realiza-se a leitura do resumo; caso contrário, descarta-se o artigo. A análise do resumo determina se o artigo está alinhado com o tema da pesquisa, o que determina sua permanência ou descarte. Artigos que não estão disponíveis integralmente para consulta são descartados.

Por fim, realiza-se a leitura completa dos artigos para confirmar o alinhamento com o tema da pesquisa. Artigos considerados alinhados permanecem na lista do pesquisador e compõem o Portfólio Bibliográfico.

b) Análise bibliométrica do PB

A análise do PB tem por objetivo evidenciar informações sobre o portfólio bibliográfico obtido por meio da análise e quantificação de suas características (Ensslin *et al.*, 2010). As principais análises são: periódicos nos quais os artigos estão publicados; verificar autores de destaque; análise das palavras-chave e as citações.

A pesquisa da literatura foi conduzida utilizando a base de dados Web of Science, garantindo a inclusão de estudos de alta qualidade revisados por pares em nossos resultados (Denyer e Tranfield, 2009). Foi direcionada uma busca abrangente por artigos revisados por pares em língua inglesa, com o propósito de abranger os conhecimentos mais recentes disponíveis, em particular no contexto da implantação de sistemas fotovoltaicos em terras agrícolas. Essa pesquisa foi realizada no mês de junho de 2023, sem restrição de período, o que nos possibilitou abranger artigos publicados até junho de 2023. Observa-se que foi estabelecido um período específico para as palavras-chave "agriculture and solar energy" e "photovoltaic energy and food production" devido à grande quantidade de artigos relacionados à aplicação da energia solar na agricultura.

As palavras-chave selecionadas, como "photovoltaic energy and food production", foram escolhidas para capturar a ampla cadeia do agronegócio brasileiro. Isso inclui não apenas a produção de alimentos, mas também fibras, biocombustíveis e produtos farmacêuticos. Esse enfoque abrangente permite uma análise detalhada sobre o impacto da implementação de sistemas fotovoltaicos em diferentes tipos de uso do solo.

Tabela 1
Resumo da Pesquisa do banco de dados

Palavras-chave	Filtros	Quantidade
agriculture and solar energy	2019-2023	3760
photovoltaic energy and food production	2019-2023	320
agriculture and photovoltaics	Sem delimitação de período	445
food production and photovoltaics	Sem delimitação de período	104

fertile soil and fotovoltaics	Sem delimitação de período	1
solar energy versus agriculture	Sem delimitação de período	75
photovoltaics versus agriculture	Sem delimitação de período	9
photovoltaic energy and productive land	Sem delimitação de período	24
photovoltaic energy versus productive land	Sem delimitação de período	1
solar energy versus productive land	Sem delimitação de período	2

Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos do Web of Science

Foi utilizado a ferramenta VOSviewer, software disponível para criar e explorar mapas bibliométricos baseados em redes (Boyack, Van Eck, Colavizza e Waltman, 2018). A escolha do software para análises bibliométricas justifica-se: I) possuir uma interface gráfica intuitiva; II) compatibilidade com a base de dados Web of Science e; III) ser freeware, livre de custos adicionais.

RESULTADOS DA PESQUISA

No estudo foi possível constatar que as principais nações que lideram a geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos, conforme apontado por Moore *et al.* (2022) e Nonhebel (2005), geralmente carecem de legislações específicas voltadas para a utilização de áreas agrícolas na implementação de sistemas fotovoltaicos.

As restrições legais para a construção de empreendimentos frequentemente se concentram em aspectos como a proximidade de cursos d'água e córregos, áreas sob domínio de estradas e rodovias, assim como a proximidade de áreas urbanas. No âmbito brasileiro, nos leilões de geração de energia elétrica realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) entre 2012 e 2022, não foram estabelecidas restrições específicas relacionadas à utilização de terras agrícolas para a geração de energia, e a legislação sobre o tema se mostra, em grande medida, limitada. Diversos fatores podem contribuir para trade-offs no uso de terras agrícolas, incluindo expansão urbana, desmatamento, políticas governamentais e a implementação de energias renováveis, conforme destacado por De Magalhães, Danilevicz e Palazzo (2019). Nesse contexto, a busca por lucro imediato muitas vezes leva os agricultores a tomarem decisões que visam maximizar seus ganhos financeiros a curto prazo. Contudo, gerenciar esses trade-offs de maneira sustentável torna-se um desafio crucial, visando conciliar a produção agrícola com a conservação ambiental.

Uma alternativa para mitigar esse conflito é a adoção dos sistemas agrivoltaicos. Essa abordagem, que combina a produção agrícola e a geração de energia simultaneamente, apresenta potencial para aumentar a renda dos agricultores. Vale ressaltar que nem todas as culturas são adequadas para esse modelo, sendo essencial considerar cuidadosamente as características específicas de cada local e cultura. Essa estratégia oferece uma oportunidade valiosa para alinhar os interesses econômicos dos agricultores com a necessidade de promover práticas sustentáveis que conciliem produção agrícola e energia de maneira harmoniosa.

Para identificar alternativas para a conciliação desses dois usos conflitantes da terra, realizou-se uma revisão sistemática da literatura. Na pesquisa, utilizando o conjunto de palavras-chave exibido na Tabela 1, todas as informações provenientes da base de dados do Web of Science, incluindo título, resumo, autores, ano de publicação, local de publicação, citações, país e palavras-chave, foram exportadas para planilhas do Microsoft Excel. Os resultados foram consolidados em um único conjunto (n=4.741), e as duplicatas (n=455) foram identificadas e posteriormente removidas do banco de dados consolidado.

No passo seguinte, que se refere à leitura dos títulos dos artigos com o objetivo de verificar a adequabilidade do artigo ao tema de pesquisa, uma grande parte dos artigos é descartada, e permanecem no processo 460 artigos, que foram considerados alinhados com o tema de pesquisa. Nesta etapa, foram considerados os artigos que tratam o impacto da implantação de sistemas fotovoltaicos em terras agrícolas, analisando, pelo menos, os impactos sociais, ambientais e econômicos. No total, 3.826 artigos foram excluídos pelos motivos:

I) O conteúdo não estava alinhado com o foco desta pesquisa; II) Acesso restrito aos artigos impossibilitou sua inclusão na análise; III) Os artigos foram considerados excessivamente técnicos, muitos dos quais se concentravam em pesquisas relacionadas à implementação de sistemas fotovoltaicos em contextos como irrigação, secagem de grãos, estufas e agrovoltáico, sem abordar adequadamente o impacto dessa implementação em terras agrícolas.

Após a análise do banco seguindo o método Proknow-C, foram selecionados 74 artigos alinhados ao tema que fazem parte do portfólio bibliográfico.

Tabela 2
Portfólio Bibliográfico do tema de pesquisa

#	Título	Autores	Citações	Ano
1	Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes	Dupraz, C; Marrou, H; Talbot, G; Dufour, L; Nogier, A; Ferard, Y	263	2011
2	Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands	Barron-Gafford, GA; Pavao-Zuckerman, MA; Minor, RL; Sutter, LF; Barnett-Moreno, I; Blackett, DT; Thompson, M; Dimond, K; Gerlak, AK; Nabhan, GP; Macknick, JE	167	2019
3	Renewable energy and food supply: Will there be enough land?	Nonhebel, S	138	2005
4	Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review	Weselek, A; Ehmman, A; Zikeli, S; Lewandowski, I; Schindele, S; Hogy, P	126	2019
5	Photovoltaic agriculture - New opportunity for photovoltaic applications in China	Xue, JL	95	2017

6	Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications	Schindele, S; Trommsdorff, M; Schlaak, A; Obergfell, T; Bopp, G; Reise, C; Braun, C; Weselek, A; Bauerle, A; Hogy, P; Goetzberger, A; Weber, E	90	2020
7	Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops	Valle, B; Simonneau, T; Sourd, F; Pechier, P; Hamard, P; Frisson, T; Ryckewaert, M; Christophe, A	86	2017
8	Solar PV Power Potential is Greatest Over Croplands	Adeh, EH; Good, SP; Calaf, M; Higgins, CW	80	2019
9	Agrivoltaic potential on grape farms in India	Malu, PR; Sharma, US; Pearce, JM	74	2017
10	Photovoltaics in agriculture: A case study on decision making of farmers	Brudermann, T; Reinsberger, K; Orthofer, A; Kislinger, M; Posch, A	72	2013
11	Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany	Trommsdorff, M; Kang, J; Reise, C; Schindele, S; Bopp, G; Ehmann, A; Weselek, A; Hogy, P; Obergfell, T	61	2021
12	Integrating solar energy with agriculture: Industry perspectives on the market, community, and socio-political dimensions of agrivoltaics	Pascaris, AS; Schelly, C; Burnham, L; Pearce, JM	43	2021
13	Land-Sparing Opportunities for Solar Energy Development in Agricultural Landscapes: A Case Study of the Great Central Valley, CA, United States	Hoffacker, MK; Allen, MF; Hernandez, RR	42	2017
14	Interplay between the potential of photovoltaic systems and agricultural land use	Dias, L; Gouveia, JP; Lourenco, P; Seixas, J	38	2019

15	Trade-off between photovoltaic systems installation and agricultural practices on arable lands: An environmental and socio-economic impact analysis for Italy	Sacchelli, S; Garegnani, G; Geri, F; Grilli, G; Paletto, A; Zambelli, P; Ciolli, M; Vettorato, D	38	2016
16	Key factors affecting the adoption willingness, behavior, and willingness-behavior consistency of farmers regarding photovoltaic agriculture in China	Li, B; Ding, JQ; Wang, JQ; Zhang, B; Zhang, LX	36	2021
17	A review of research on agrivoltaic systems	Al Mamun, MA; Dargusch, P; Wadley, D; Zulkarnain, NA; Aziz, AA	30	2022
18	Optimal combination of bioenergy and solar photovoltaic for renewable energy production on abandoned cropland	Leirpoll, ME; Naess, JS; Cavalett, O; Dorber, M; Hu, XP; Cherubini, F	29	2021
19	A First Investigation of Agriculture Sector Perspectives on the Opportunities and Barriers for Agrivoltaics	Pascaris, AS; Schelly, C; Pearce, JM	28	2020
20	Determination of the optimal location for constructing solar photovoltaic farms based on multi-criteria decision system and Dempster-Shafer theory	Mokarram, M; Mokarram, MJ; Khosravi, MR; Saber, A; Rahideh, A	27	2020
21	Conceptual Design and Rationale for a New Agrivoltaics Concept: Pasture-Raised Rabbits and Solar Farming	Lytle, W; Meyer, TK; Tanikella, NG; Burnham, L; Engel, J; Schelly, C; Pearce, JM	22	2021
22	Agrivoltaics Align with Green New Deal Goals While Supporting Investment in the US' Rural Economy	Proctor, KW; Murthy, GS; Higgins, CW	21	2021

23	Application of Photovoltaic Systems for Agriculture: A Study on the Relationship between Power Generation and Farming for the Improvement of Photovoltaic Applications in Agriculture	Cho, J; Park, SM; Park, AR; Lee, OC; Nam, G; Ra, IH	20	2020
24	An Efficient Structure of an Agrophotovoltaic System in a Temperate Climate Region	Kim, S; Kim, S; Yoon, CY	15	2021
25	Detection of Fast Landscape Changes: The Case of Solar Modules on Agricultural Land	Marcheggiani, E; Gulinck, H; Galli, A	15	2013
26	Research on Coupling Coordination Development for Photovoltaic Agriculture System in China	Chen, J; Liu, YP; Wang, LJ	15	2019
27	Agricultural Land or Photovoltaic Parks? The Water-Energy-Food Nexus and Land Development Perspectives in the Thessaly Plain, Greece	Sargentis, GF; Siamparina, P; Sakki, GK; Efstratiadis, A; Chiotinis, M; Koutsoyiannis, D	9	2021
28	Designing solar farms for synergistic commercial and conservation outcomes	Nordberg, EJ; Caley, MJ; Schwarzkopf, L	9	2021
29	An analytical framework to estimate the economics and adoption potential of dual land-use systems: The case of agrivoltaics	Feuerbacher, A; Laub, M; Hogy, P; Lippert, C; Pataczek, L; Schindele, S; Wieck, C; Zikeli, S	8	2021
30	Is it a good time to develop commercial photovoltaic systems on farmland? An American-style option with crop price risk	Kim, B; Kim, C; Han, S; Bae, J; Jung, J	8	2020
31	Strategic land use analysis for solar energy development in New York State	Katkar, VV; Sward, JA; Worsley, A; Zhang, KM	7	2021
32	Current status of agrivoltaic systems and their benefits to energy, food, environment, economy, and society	Kumpanalaisatit, M; Setthapun, W; Sintuya, H; Pattiya, A; Jansri, SN	6	2022

33	Design of agrivoltaic system to optimize land use for clean energy-food production: a socio-economic and environmental assessment	Giri, NC; Mohanty, RC	5	2022
34	Global sensitivity based prioritizing the parametric uncertainties in economic analysis when co-locating photovoltaic with agriculture and aquaculture in China	Jing, R; He, Y; He, JJ; Liu, Y; Yang, SB	5	2022
35	The role of soils in provision of energy	Smith, J; Farmer, J; Smith, P; Nayak, D	5	2021
36	A Spatially Highly Resolved Ground Mounted and Rooftop Potential Analysis for Photovoltaics in Austria	Mikovits, C; Schauppenlehner, T; Scherhauer, P; Schmidt, J; Schmalzl, L; Dworzak, V; Hampl, N; Sposato, RG	4	2021
37	Agricultural Land: Crop Production or Photovoltaic Power Plants	Havrysh, V; Kalinichenko, A; Szafranek, E; Hruban, V	4	2022
38	Combined land use of solar infrastructure and agriculture for socioeconomic and environmental co-benefits in the tropics	Choi, CS; Ravi, S; Siregar, IZ; Dwiyantri, FG; Macknick, J; Elchinger, M; Davatzes, NC	4	2021
39	Comparison of Yield and Yield Components of Several Crops Grown under Agro-Photovoltaic System in Korea	Jo, H; Asekova, S; Bayat, MA; Ali, L; Song, JT; Ha, YS; Hong, DH; Lee, JD	4	2022
40	Economic Implications of Agricultural Land Conversion to Solar Power Production	Farja, Y; Maciejczak, M	4	2021
41	Environmental and economic performance assessment of integrated conventional solar photovoltaic and agrophotovoltaic systems	Junedi, MM; Ludin, NA; Kathleen, PR; Hamid, NH; Hasila, J; Affandi, NAA	4	2022
42	Opportunities for agrivoltaic systems to achieve synergistic food-energy-environmental needs and address sustainability goals	Walston, LJ; Barley, T; Bhandari, I; Campbell, B; McCall, J; Hartmann, HM; Dolezal, AG	4	2022

43	Smart Shift from Photovoltaic to Agrivoltaic System for Land-Use Footprint	Giri, NC; Mohanty, RC; Mishra, SP	4	2021
44	Study on Performance and Economic Efficiency of Solar Power on Agricultural Land: A case study in Central Region, Vietnam	Huyen, CTT; Phap, VM; Nga, NT	4	2021
45	Agrivoltaics: The Environmental Impacts of Combining Food Crop Cultivation and Solar Energy Generation	Wagner, M; Lask, J; Kiesel, A; Lewandowski, I; Weselek, A; Hogy, P; Trommsdorff, M; Schnaiker, MA; Bauerle, A	3	2023
46	Sustainable land use with agrivoltaics: photovoltaics diffusion in harmony with food production. Scenario analysis on the agricultural land demand by photovoltaics in Germany until 2050	Schindele, S	3	2021
47	Agrivoltaic in Chile - Integrative solution to use efficiently land for food and energy production and generating potential synergy effects shown by a pilot plant in Metropolitan region	Gese, P; Martinez-Conde, FM; Ramirez-Sagner, G; Dinter, F	2	2019
48	Ground-Mounted Photovoltaic and Crop Cultivation: A Comparative Analysis	Sacchelli, S; Havrysh, V; Kalinichenko, A; Suszanowicz, D	2	2022
49	Solar power promotion plans, energy market liberalization, and farmland prices- Empirical evidence from Taiwan	Lee, B; Chang, HH; Wang, SY	2	2021
50	A multi-objective assessment for the water-energy-food nexus for rural distributed energy systems	Rodriguez-Gutierrez, JE; Castillo-Molar, A; Fuentes-Cortes, LF	1	2022

51	A new predictive model for the design and evaluation of bifacial photovoltaic plants under the influence of vegetation soils	Rodriguez-Pastor, DA; Ildelfonso-Sanchez, AF; Soltero, VM; Peralta, ME; Chacartegui, R	1	2023
52	Agrivoltaic, a Synergistic Co-Location of Agricultural and Energy Production in Perpetual Mutation: A Comprehensive Review	Sarr, A; Soro, YM; Tossa, AK; Diop, L	1	2023
53	Agrovoltatics Farming Design and Simulation	John, RS; Mahto, RV	1	2021
54	An analysis of the social and private return to land use change from agriculture to renewable energy production in Ireland	Geoghegan, C; O'Donoghue, C	1	2023
55	Can we have clean energy and grow our crops too? Solar siting on agricultural land in the United States	Moore, S; Graff, H; Ouellet, C; Leslie, S; Olweean, D	1	2022
56	Circularity and landscape experience of agrivoltatics: A systematic review of literature and built systems	Sirnik, I; Sluijsmans, J; Oudes, D; Stremke, S	1	2023
57	Criteria for Identifying More Favourable Areas for Photovoltaic Installations Case of East Spain Crop Cultivation Underneath Agro-	Guaita-Pradas, I; Marques-Perez, I; Segura, B; Gallego, A	1	2018
58	Photovoltaic Systems and Its Effects on Crop Growth, Yield, and Photosynthetic Efficiency	Lee, HJ; Park, HH; Kim, YO; Kuk, YI	1	2022
59	Estimating the economics and adoption potential of agrivoltatics in Germany using a farm-level bottom-up approach	Feuerbacher, A; Herrmann, T; Neuenfeldt, S; Laub, M; Gocht, A	1	2022

60	How to manage land use conflict between ecosystem and sustainable energy for low carbon transition?: Net present value analysis for ecosystem service and energy supply	Kim, J; Park, E; Song, CL; Hong, MA; Jo, HW; Lee, WK	1	2022
61	Land-use intensity of electricity production and tomorrow's energy landscape	Lovering, JR; Swain, M; Blomqvist, L; Hernandez, R	1	2022
62	Social acceptance of dual land use approaches: Stakeholders' perceptions of the drivers and barriers confronting agrivoltaics diffusion	Torma, G; Aschemann-Witzel, J	1	2023
63	The Agrivoltaic Potential of Canada	Jamil, U; Bonnington, A; Pearce, JM	1	2023
64	A Cost-Benefit Analysis for Utility-Scale Agrivoltaic Implementation in Italy	Di Francia, G; Cupo, P	0	2023
65	Advancement in Agriculture Approaches with Agrivoltaics	Othman, NF; Ya'acob, ME; Lu, L; Jamaluddin, AH; Su, ASM; Hizam, H; Shamsudin, R; Jaafar, JN	0	2023
66	Natural Cooling in Large Scale Solar PV Farms Analyzing the land and labour productivity of farms producing renewable energy: the Italian case study	Basso, A; Zolin, MB	0	2023
67	Does agrivoltaism reconcile energy and agriculture? Lessons from a French case study	Carrausse, R; de Sartre, XA	0	2023
68	Ductile, model-based feasibility assessment for non-irrigated agrivoltaic systems	Curioni, M; Galli, N; Rulli, MC; Leva, S; Manzolini, G	0	2022
69	Estimation Model of Agrivoltaic Systems Maximizing for Both Photovoltaic Electricity Generation and Agricultural Production	Yajima, D; Toyoda, T; Kirimura, M; Araki, K; Ota, Y; Nishioka, K	0	2023
70	HOW AGRIVOLTAICS CAN BE USED AS A CROP PROTECTION SYSTEM	Willockx, B; Kladas, A; Lavaert, C; Uytterhaegen, B; Cappelle, J	0	2022

71	How to reconcile renewable energy and agricultural production in a drying world Planning for Future Solar Farm Development in North Carolina: A Geographic Food-Energy-Water Approach	Schweiger, AH; Pataczek, L	0	2023
72	Solar array placement, electricity generation, and cropland displacement across California's Central Valley	Curtis, S; Etheridge, R; Malali, P; Peralta, AL; Filho, F	0	2020
73	The land use impact of renewable energy sprawl in South Africa	Stid, JT; Shukla, S; Anctil, A; Kendall, AD; Rapp, J; Hyndman, DW	0	2022
74		Gaeatholwe, VT; Langerman, KE	0	2022

Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos do *Web of Science*

O portfólio bibliométrico indica que houve um crescente interesse da comunidade acadêmica em pesquisas relacionadas à implantação de usinas fotovoltaicas em terras agrícolas, sendo publicados 69 artigos entre 2017 e junho/2023.

A Tabela 3 indica que as publicações em periódicos constituíram a principal via de divulgação dos resultados da pesquisa. As revistas acadêmicas com maior número de publicações foram *Renewable & Sustainable Energy Reviews* e *Sustainability*, *Agronomy-Basel*, *Energies*, *Renewable Energy* (n=4), *Journal of Cleaner Production* (n=3), *Agriculture -Basel*, *Applied Energy*, *Energy Policy*, *Energy Research & Social Science*, *Land Use Police*, *Scientific Reports*, *Sustainable Energy Technologies and Assessments* (n=2). Os dez periódicos mais prolíficos representaram 51% dos artigos analisados.

Por fim, os resultados mostram que o tema do presente estudo é adequado para publicação em uma variedade de revistas especializadas (n=22) que focam principalmente em questões de sustentabilidade, meio ambiente e energia.

Tabela 3
Número de publicações por revista

Fonte	Artigos
<i>Renewable & Sustainable Energy Reviews</i>	9
<i>Sustainability</i>	6
<i>Agronomy-Basel</i>	4
<i>Energies</i>	4
<i>Renewable Energy</i>	4
<i>Journal of Cleaner Production</i>	3
<i>Agriculture-Basel</i>	2
<i>Applied Energy</i>	2

Energy Policy	2
Energy Research & Social Science	2
Land Use Policy	2
Scientific Reports	2
Sustainable Energy Technologies and Assessments	2
12th International Conference on Simulation and Modelling in the Food	1
2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference	1
2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)	1
2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical	1
Agricultural Systems	1
Agronomy for Sustainable Development	1
Ambient Science	1
Clean Technologies and Environmental Policy	1
Computational Science and its Applications - ICCSA 2013, pt iv	1
Energy Economics	1
Energy Sustainability and Society	1
Environmental Science & Technology	1
Frontiers in Environmental Science	1
Frontiers in Sustainable Food Systems	1
Gaia-Ecological Perspectives for Science and Society	1
International Journal of Renewable Energy Research	1
ISPRS International Journal of Geo-Information	1
Journal of Productivity Analysis	1
Journal of Rural Studies	1
Nature Sustainability	1
Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences	1
Plants People Planet	1
Plos One	1
Proceedings of the Ises Solar World Conference 2019 and the IEA SHC	1
Processes	1
Science of the Total Environment	1
Solar Energy	1
South African Geographical Journal	1
Southeastern Geographer	1
Sustainable Production and Consumption	1

Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos do *Web of Science*

Os Países Europeus e os Estados Unidos da América têm estado na vanguarda da publicação acadêmica em relação sistemas fotovoltaicos. Entre todos os artigos revisados, 44% tiveram primeiros autores que trabalham em uma instituição europeia. A Ásia encontra-se com 23% de coautores, impulsionado pelo interesse da Coreia do Sul e China em energia limpa, principalmente, geração de energia através de sistemas fotovoltaicos. Em seguida, as Américas com 22% de coautores.

Segundo Franco e Groesser (2021), os países em desenvolvimento apresentam desvantagens em comparação com os casos europeu e chinês. Embora estejam sendo adotadas políticas de implantação de sistemas fotovoltaicos nesses países, há uma falta de investimentos governamentais para pesquisas acadêmicas.

Tabela 4
Distribuição temporal da localização geográfica por autoria

Países	Coautoria	País	Coautoria	País	Coautoria
USA	19	Países Baixos	2	Irlanda	1
Alemanha	9	Espanha	2	Israel	1
Itália	6	Ucrânia	2	Japão	1
Coreia do Sul	6	Bangladesh	1	México	1
China	4	Benin	1	Noruega	1
Austrália	3	Burquina Fasso	1	Omã	1
Finlândia	3	Canadá	1	Portugal	1
França	3	Chile	1	Escócia	1
Índia	3	Dinamarca	1	Senegal	1
Polônia	3	Inglaterra	1	África do Sul	1
Áustria	2	Grécia	1	Taiwan	1
Bélgica	2	Indonésia	1	Tailândia	1
Malásia	2	Irã	1	Vietnã	1

Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos do *Web of Science*

A Tabela 5 destaca os autores com maior quantidade de artigos publicados do portfólio bibliográfico selecionado, destacam-se que os dez primeiros autores possuem reconhecimento acadêmico e são citados em diversas pesquisas. Em relação ao reconhecimento dos autores, observou-se o total de 192 autores distintos nos artigos do portfólio.

Tabela 5
Principais autores do portfólio

Autor	Documentos	Citações
Hoegy, P	5	289
Pearce, Jm	5	168
Schindele, S	5	289
Weselek, A	4	281

Schelly, C	3	93
Trommsdorff, M	3	154
Bauerle, A	2	93
Bopp, G	2	151
Burnham, I	2	65
Ehmann, A	2	188

Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos do Web of Science

Destaca-se que não existem pesquisadores ou grupos de pesquisadores de maior destaque (Figura 2). O mapeamento da rede de relacionamento de autores e coautoria demonstra pequenos grupos de pesquisas publicando conjuntamente. Para realizar tal análise, foi utilizado o software open-source VOSviewer.

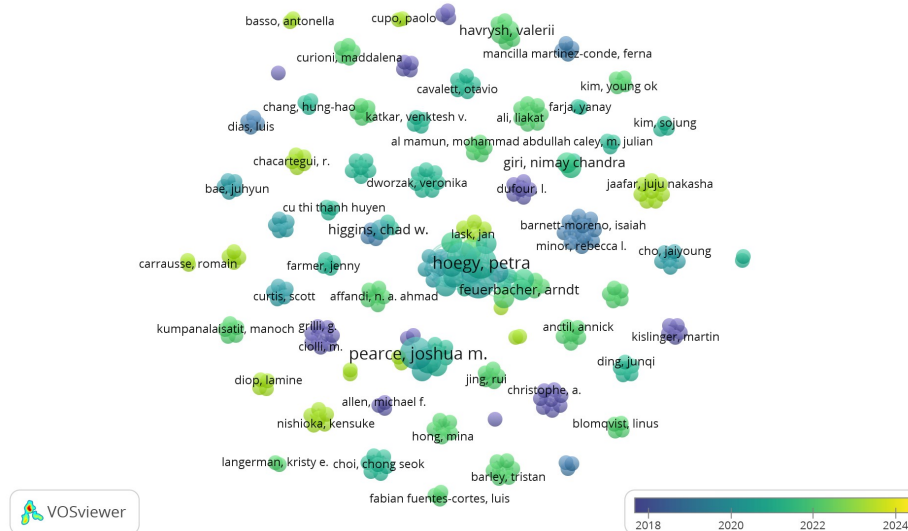


Figura 2

Relacionamento autores no portfólio

Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos do Web of Science

A Tabela 6 demonstra os dez trabalhos mais citados pelos autores dentro do portfólio selecionado.

Tabela 6

Trabalhos mais citados no portfólio

Título	Abordagem	Autores	Citações recebidas pelo portfólio selecionado
The potential of agrivoltaic systems	<p>O presente estudo relata a competição entre produção de alimento e geração de energia. Os autores propõe a utilização do sistema agrovoltáico, desenvolvendo na mesma área energia solar quanto a agricultura convencional. Um modelo de simulação acoplado desenvolvido para produção de PV (PVSyst) e produção agrícola (modelo de cultivo Simulateur mulTIdisciplinaire les Cultures Standard - STICS), para avaliar o potencial técnico de escalar sistemas agrovoltáicos. Os resultados demonstraram aumento de 30% no valor econômico de fazendas, no entanto, tal sistema associa-se melhor com produção de culturas tolerantes à sombra.</p>	Dinesh e Pearce (2016)	37
<p>Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes</p>	<p>O artigo propõe o debate das melhores estratégias para converter a radiação solar em energia e alimentos. Os autores sugerem a combinação de módulos solares e culturas alimentares na mesma unidade de terra e nomeia tal ação de Agrivoltáico. Com a aplicação de tal sistema para produção de trigo houve uma redução de 19% no rendimento do trigo em detrimento que houve uma redução de 57% na disponibilidade de luz. Os autores propõe que estudos futuros avaliem os métodos com outras culturas.</p>	Dupraz; Marrou; Talbot; Dufour et al. (2011)	35

<p>Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review</p>	<p>O presente estudo relata os impactos do sombreamento provocado pelos sistemas solares em lavouras, apontando o impacto na redução da produção (12% à 20%) conforme a cultura platanda, o arroz apresentou redução de 20%na produção em comparação em campo aberto. os autores trazem fatores que o sombreamento influenciam na qualidade dos alimentos, exemplos: milho apresentou maior teor de proteína e gordura. O teor de ácido oleico do milho, colza, soja e girassol diminuiu com a redução da intensidade da luz, enquanto o teor de ácidos graxos poliinsaturados, como o ácido linoleico e linolênico, aumentaram. Contudo, os autores concluem que o sistema agrivoltaico apresenta-se com uma solução para países populosos e de interesse da indústria.</p>	<p>Weselek; Ehmann; Zikeli; Lewandowski et al. (2019)</p>	<p>23</p>
<p>Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production</p>	<p>Neste estudo, foi projetada uma plataforma (GECROS) para executar simulações destinadas a otimizar sistemas agrivoltaicos no Norte da Itália. Os dados de uma simulação de longo período foram usados para avaliar a produtividade da terra sob Agrovoltaico e compará-la com os atuais sistemas de energia renovável baseados em terra: conclui-se que os sistemas agrivoltaicos são muito eficazes em maximizar a produtividade da terra, especialmente se forem comparados para cenários reais de energia renovável em que painéis fotovoltaicos “montados no solo” e monoculturas de milho para produção de biogás são suportados</p>	<p>Amaducci; Yin e Colauzzi (2018)</p>	<p>22</p>

Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands	<p>O artigo traz que a nova colocação de agricultura e matrizes fotovoltaicas pode ter efeitos sinérgicos que apoiem a produção de serviços ecossistêmicos, como produção agrícola, regulação do clima local, conservação de água e produção de energia renovável. Existem prováveis barreiras para uma adoção mais ampla, que incluem desafios associados a algumas formas de cultivo e colheita mecanizados e os custos adicionais associados à elevação de painéis fotovoltaicos para permitir a produção de alimentos no sub-bosque</p>	Barron-Gafford; Pavao-Zuckerman; Minor; Sutter et al. (2019)	22
Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels?	<p>O presente estudo aborda a aplicação dos sistemas agrivoltaicos em campos abertos com determinadas culturas e apresenta adaptações nas práticas de cultivo das culturas (pepino, alface e trigo). O presente artigo trouxe a avaliação do efeito na produtividade da cultura do alface em sistemas agrivoltaicos, demonstrando que algumas plantas como o alface tem a capacidade de adaptar a essas condições e compensar a redução da disponibilidade de luz. Outras culturas também estão sendo investigadas pelos autores (pepino, feijão francês e trigo duro).</p>	Marrou; Guillioni; Dufour; Dupraz e Wery (2013)	22
Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels	<p>O presente artigo trouxe a avaliação do efeito na produtividade da cultura do alface em sistemas agrivoltaicos, demonstrando que algumas plantas como o alface tem a capacidade de adaptar a essas condições e compensar a redução da disponibilidade de luz. Outras culturas também estão sendo investigadas pelos autores (pepino, feijão francês e trigo duro). Os autores relatam que o valor econômico na nas fazendas de uva da Índia aumentaram mais de 15 vezes em comparação ao cultivo convencional. Simularam que tal prática sendo implementada em todo o país, poderá gerar mais de 16.000 GWh de eletricidade, podendo atender 15 milhões de pessoas.</p>	Marrou; Wéry; Dufour e Dupraz (2013)	22
Agrivoltaic potential on grape farms in India	<p>Os autores relatam que o valor econômico na nas fazendas de uva da Índia aumentaram mais de 15 vezes em comparação ao cultivo convencional. Simularam que tal prática sendo implementada em todo o país, poderá gerar mais de 16.000 GWh de eletricidade, podendo atender 15 milhões de pessoas.</p>	Malu; Sharma e Pearce (2017)	19

<p>Solar Sharing for Both Food and Clean Energy Production: Performance of Agrivoltaic Systems for Corn, A Typical Shade-Intolerant Crop</p>	<p>Os resultados desta pesquisa mostraram, no entanto, que o sistema agrivoltaico sobre palafitas pode mitigar o trade-off entre produção agrícola e geração de energia limpa mesmo quando aplicado ao milho, uma cultura típica intolerante à sombra. Os resultados desta pesquisa devem encorajar mais agricultores convencionais, produtores de energia limpa e formuladores de políticas a considerar a adoção de sistemas fotovoltaicos montados em palafitas, principalmente em áreas onde os recursos da terra são relativamente escassos.</p>	<p>Sekiyama e Nagashima (2019)</p>	<p>19</p>
--	---	------------------------------------	-----------

Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos do Web of Science

Os artigos relataram como fatores que poderão contribuir com a análise da produção de alimentos e geração de energia solar, através de sistemas agrivoltaicos, buscando evitar o conflito nas terras agrícolas o desabastecimento de alimentos em prol de geração de energia. Outro ponto de destaque abordados entre os artigos, foram redução na produção de alimentos de determinadas culturas e o impacto nas suas respectivas qualidades, o que requer mais estudos a fim de analisar os benefícios ambientais, econômicos e sociais de tal prática.

Para a análise textual das palavras-chave extraídas nos artigos do portfólio, foram utilizados os softwares VOSviewer e o Microsoft Excel, onde possibilitou um total de 867 ocorrências, sendo todas distintas. O Gráfico 1 e a Figura 3 exibem a análise bibliométrica das palavra-chave com frequência acima de 1 e suas conexões. As mais frequentes são “land use”, “agrivoltaics” e “renewable energy”.

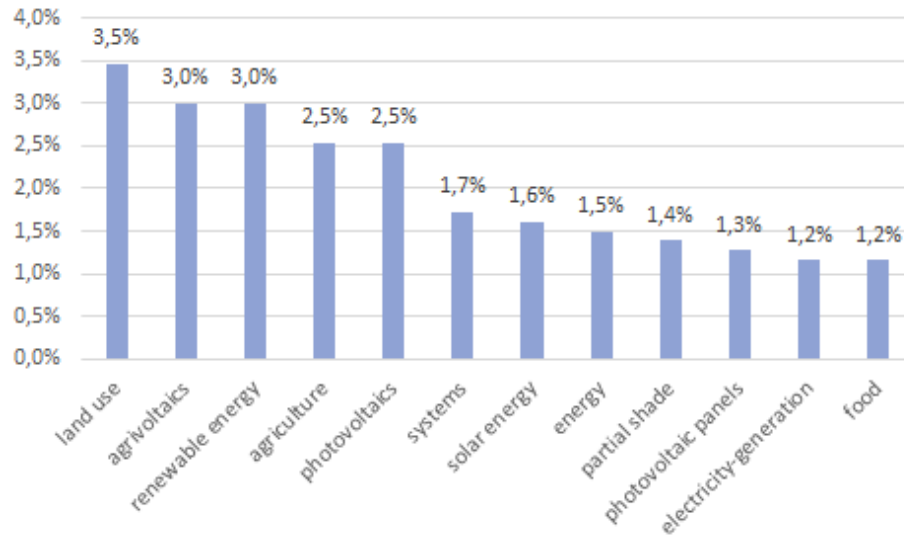


Gráfico 1

Principais Palavras-Chave do Portfólio

Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos do Web of Science

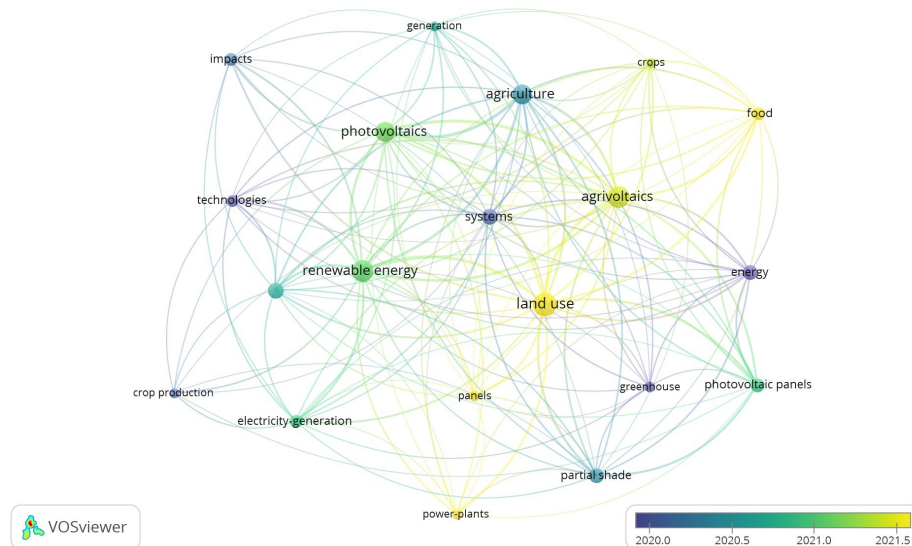


Figura 3

Principais Palavras-Chave do Portfólio

Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos do Web of Science

As palavras “land use”, “agrivoltaics” e “renewable energy” são genéricas e são utilizadas em outras áreas de pesquisa, sendo relevantes e aplicáveis ao tema o impacto da implantação de sistemas fotovoltaicos em terras agrícolas.

A implementação de fontes de energia renováveis, como a energia solar fotovoltaica, demanda áreas para captar a radiação solar recebida, e as terras agrícolas têm sido utilizadas para viabilizar esses empreendimentos. Essa ação requer uma compreensão aprofundada das interações entre agricultores, governos, comunidades e empresas de energia para interpretar as opiniões das partes interessadas sobre a localização de usinas fotovoltaicas em terras agrícolas.

Com base na revisão de literatura, a Tabela 7 a seguir resume os impactos do uso da terra para o agronegócio e para a produção de energia fotovoltaica, além de apresentar sugestões para a conciliação dessas duas atividades.

Tabela 7
Impactos do Uso da Terra no Agronegócio, Produção de Energia Fotovoltaica e Soluções de Conciliação:
Revisão de Artigos Acadêmicos

Agronegócio	Produção de Energia Fotovoltaica	Conciliação entre Agronegócio e Produção de Energia Fotovoltaica
Renewable energy and food supply: Will there be enough land? (Nonhebel, 2005)	Solar PV Power Potential is Greatest Over Croplands (Adeh et al., 2019)	Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use (Dupraz et al., 2011)
Agrivoltaic potential on grape farms in India (Malu et al., 2017)	Photovoltaic agriculture - New opportunity for photovoltaic applications in China (Xue, 2017)	Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops (Valle et al., 2017)
Photovoltaics in agriculture: A case study on decision making of farmers (Brudermann et al., 2013)	Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review (Weselek et al., 2019)	Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system (Trommsdorff et al., 2021)
Trade-off between photovoltaic systems installation and agricultural practices on arable lands (Sacchelli et al., 2016)	Strategic land use analysis for solar energy development (Katkar et al., 2021)	Conceptual Design and Rationale for a New Agrivoltaics Concept (Lytle et al., 2021)
Land-Sparing Opportunities for Solar Energy Development (Hoffacker et al., 2017)	A multi-objective assessment for the water-energy-food nexus (Rodriguez-Gutierrez et al., 2022)	Designing solar farms for synergistic commercial and conservation outcomes (Nordberg et al., 2021)
Application of Photovoltaic Systems for Agriculture (Cho et al., 2020)	A Spatially Highly Resolved Ground Mounted and Rooftop Potential Analysis (Mikovits et al., 2021)	An analytical framework to estimate the economics and adoption potential of dual land-use systems (Feuerbacher et al., 2021)

Agricultural Land or Photovoltaic Parks? (Sargentis et al., 2021)	Opportunities for agrivoltaic systems to achieve synergistic food-energy-environmental needs (Walston et al., 2022)	The role of soils in provision of energy (Smith et al., 2021)
Environmental and economic performance assessment (Junedi et al., 2022)	A review of research on agrivoltaic systems (Al Mamun et al., 2022)	Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus (Barron-Gafford et al., 2019)
Detection of Fast Landscape Changes (Marcheggiani et al., 2013)	Solar array placement, electricity generation, and cropland displacement (Stid et al., 2022)	Land-Sparing Opportunities for Solar Energy Development (Hoffacker et al., 2017)
How to reconcile renewable energy and agricultural production (Schweiger et al., 2023)	Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis (Schindele et al., 2020)	How to manage land use conflict between ecosystem and energy (Kim et al., 2022)

Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos do Web of Science

Devido à importância das decisões relacionadas à localização e uso da terra para facilitar a instalação de energia solar fotovoltaica, observa-se um aumento nas pesquisas nas áreas de localização ideal e impactos do uso da terra em fazendas solares. Esses estudos geralmente são realizados em regiões onde o desenvolvimento de sistemas solares já ocorre, com uma abrangência geográfica limitada (Katkar *et al.*, 2021).

Segundo Moore *et al.* (2022), a literatura de energia e ciências sociais destaca que os debates não devem se concentrar apenas na viabilidade técnica da terra em suportar a energia renovável, mas também na questão de se ela deve ser convertida em geração de energia. Bessette e Mills (2021) ilustram que a implantação de sistemas fotovoltaicos em terras agrícolas ocorre devido à necessidade de diversificação de renda dos agricultores, e a oposição a essa prática geralmente ocorre em locais com belezas naturais vinculadas ao turismo ou à preservação da natureza.

Autores como Barron-Gafford *et al.* (2019) e Marrou, Guillioni, Dufour, Dupraz e Wery (2013) destacam a importância do sistema agrivoltaico na minimização do impacto na produção de alimentos e geração de energia. Apesar da identificação de uma redução na produção de algumas culturas em até 20% (Weselek *et al.*, 2019), essa abordagem é economicamente e tecnicamente viável para determinadas culturas, como alface, pepino e trigo. No entanto, são necessários estudos sobre como os sistemas agrivoltaicos impactam as economias agrícolas locais, considerando os efeitos sobre os trabalhadores rurais e pequenos produtores, exigindo uma transição cuidadosa no mercado.

Embora grande parte das pesquisas se concentre nos impactos em grandes propriedades e na indústria do agronegócio, a implementação de sistemas fotovoltaicos pode trazer benefícios também para a agricultura familiar e pequenos agricultores. A redução dos custos de produção, bem como o uso de áreas não produtivas para geração de energia, são oportunidades que podem beneficiar esses segmentos, mas que também exigem políticas públicas inclusivas que considerem suas necessidades específicas.

Como sugestão de estudos futuros, seria importante analisar como a energia fotovoltaica pode ser integrada de forma eficiente no contexto do agronegócio brasileiro, podendo explorar os grandes e médios produtores e a agricultura familiar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo abordou o desafio de conciliar o uso de terras agrícolas para a instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil, ressaltando o trade-off entre a produção agrícola e a geração de energia. A revisão sistemática realizada evidenciou a ausência de políticas públicas e regulamentações específicas que possam guiar a implementação de usinas fotovoltaicas em áreas destinadas à produção agrícola. Essa lacuna regulatória é apontada como uma das principais causas do dilema identificado, tornando evidente a necessidade de uma abordagem mais estratégica.

Para superar esse desafio, propõe-se a realização de um diálogo inclusivo entre governo, produtores rurais, sociedade civil e o setor empresarial fotovoltaico. Esse diálogo deve ter como objetivo principal a formulação de políticas públicas que promovam a integração sustentável da energia fotovoltaica em terras agrícolas, de forma a garantir que a expansão energética não comprometa a produção agrícola nem a sustentabilidade do agronegócio.

Este estudo contribuiu para o debate sobre o uso eficiente de terras agrícolas, destacando a importância da energia fotovoltaica no desenvolvimento sustentável do agronegócio brasileiro. Com o Brasil ocupando uma posição de liderança tanto na produção agrícola quanto na transição para fontes renováveis de energia, a necessidade de políticas específicas para equilibrar esses setores se tornou ainda mais urgente.

Portanto, é essencial que o Brasil, como protagonista global na produção agrícola e na adoção de energias renováveis, adote estratégias que reconciliem de forma eficaz as demandas por energia e produção agrícola. Somente por meio de um desenvolvimento equilibrado e sustentável será possível assegurar o bem-estar nacional e contribuir para a produção agrícola e energética global.

Referências

- ABSOLAR. (2023). *Infográfico*. <https://www.absolar.org.br>
- Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A. K., Nabhan, G. P., e Macknick, J. E. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), 848–855. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
- Batalha, M. O. (2010). *Gestão agroindustrial*. Atlas.
- Bessette, D. L., e Mills, S. B. (2021). Farmers vs. lakers: Agriculture, amenity, and community in predicting opposition to United States wind energy development. *Energy Research & Social Science*, 72, Article 101873. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101873>
- Boyack, K. W., van Eck, N. J., Colavizza, G., e Waltman, L. (2018). Characterizing in-text citations in scientific articles: A large-scale analysis. *Journal of Informetrics*, 12(1), 59–73.
- Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. (2024). *Panorama do agro*. <https://cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro>
- Cook, D. J., Mulrow, C. D., e Haynes, R. B. (1997). Systematic reviews: Synthesis of best evidence for clinical decisions. *Annals of Internal Medicine*, 126(5), 376–380. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-126-5-199703010-00006>
- Davis, J. H., e Goldberg, R. A. (1957). *A concept of agribusiness*. Graduate School of Business Administration, Division of Research, Harvard University.
- De Magalhães, R. F., Danilevicz, Â. D. M. F., e Palazzo, J. (2019). Managing trade-offs in complex scenarios: A decision-making tool for sustainability projects. *Journal of Cleaner Production*, 212, 447–460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.023>
- Denyer, D., e Tranfield, D. (2009). Producing a systematic review. In D. A. Buchanan e A. Bryman (Eds.), *The Sage handbook of organizational research methods* (pp. 671–689). Sage Publications.
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., e Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725–2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
- Ensslin, L., Ensslin, S. R., Lacerda, R. T. O., e Tasca, J. E. (2010). ProKnow-C, Knowledge Development Process–Constructivist: Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. [s.n.].
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, e WHO. (2023). *The state of food security and nutrition in the world 2023: Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum*. FAO.
- Franco, M. A., e Groesser, S. N. (2021). A systematic literature review of the solar photovoltaic value chain for a circular economy. *Sustainability*, 13(17), 9615. <https://doi.org/10.3390/su13179615>
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., e Gorini, R. (2019). *Global energy transformation: A roadmap to 2050*. International Renewable Energy Agency.
- IRENA. (2023). *World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, Volume I*. International Renewable Energy Agency. <https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/>

Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_v_1_2023.pdf?
rev=b1d4be858ad549a9a750921d0f2b5d53

- Katkar, V. V., Jensen, S. S., Saevarsdottir, G., e Xydis, G. (2021). Strategic land use analysis for solar energy development in New York State. *Renewable Energy*, 173, 861–875. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.128>
- Maka, A. O., e Alabid, J. M. (2022). Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy*, 6(3), 476–483. <https://doi.org/10.1093/ce/zkac021>
- Malaquias, R. F., Silva, A. F., Borges Junior, D. M., Barra Neto, A., e Albertin, A. L. (2023). The adoption of solar photovoltaic systems in rural areas of Brazil. *Estudios Rurales*, 13(27). <https://doi.org/10.48160/22504001er27.485>
- Marrou, H., Guillioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., e Wery, J. (2013). Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.04.012>
- Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., e Dupraz, C. (2013). Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *European Journal of Agronomy*, 44, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.08.003>
- Moore, S., Graff, H., Ouellet, C., Leslie, S., e Olweean, D. (2022). Can we have clean energy and grow our crops too? Solar siting on agricultural land in the United States. *Energy Research e Social Science*, 91, 102731. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102731>
- Morrison-Saunders, A., e Pope, J. (2013). Conceptualising and managing trade-offs in sustainability assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 38, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.06.003>

- Nonhebel, S. (2005). Renewable energy and food supply: Will there be enough land? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(2), 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.02.003>
- PricewaterhouseCoopers. (2013). *Agribusiness Brazil Overview 2013*. PwC. Disponível em <https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/setores-atividade/assets/agribusiness/2013/pwc-agribusiness-brazil-overview-13.pdf>
- Richardson, R. J. (2008). *Métodos e técnicas* (3ª ed.). Atlas.
- Sargentis, G. F., Angelakoglou, K., e Karapidakis, E. (2021). Agricultural land or photovoltaic parks? The water–energy–food nexus and land development perspectives in the Thessaly plain, Greece. *Sustainability*, 13(16), 8935. <https://doi.org/10.3390/su13168935>
- UNICEF. (2021). *The state of food security and nutrition in the world 2021*.
- United States Department of Agriculture. (2023). *Oilseeds: World markets and trade*. United States Department of Agriculture. <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0623.pdf>
- Vergara, S. C. (2006). *Projetos e relatórios de pesquisa* (3ª ed.). Atlas.
- Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., e Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: Applications, challenges, and opportunities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 1–20.



Disponible en:

<https://portal.amelica.org/ameli/ameli/journal/181/1815011013/1815011013.pdf>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe,
España y Portugal
Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la
naturaleza académica y abierta de la comunicación científica

André Barra Neto, Álvaro Guilherme Rocha,
Bruno Garcia de Oliveira

**Conciliando produção de energia fotovoltaica e
agronegócio: Desafios para o crescimento energético
sustentável e uso do solo para produção agrícola**

Reconciling Photovoltaic Energy Production and
Agribusiness: Challenges for Sustainable Energy Growth and
Land Use for Agricultural Production

Conciliando la Producción de Energía Fotovoltaica y el

Agronegocio: Desafíos para el Crecimiento Energético

Sostenible y el Uso del Suelo para la Producción Agrícola

*Estudios Rurales. Publicación del Centro de Estudios de la
Argentina Rural*

vol. 14, núm. 30, 2024

Universidad Nacional de Quilmes, Argentina

estudiosrurales@unq.edu.ar

ISSN: 2250-4001

DOI: <https://doi.org/10.48160/22504001er30.540>