

MAPEAMENTO DE TRABALHOS SOBRE INOVAÇÕES SUSTENTÁVEIS RELACIONADAS AO SETOR ENERGÉTICO

MAPPING OF STUDIES ON SUSTAINABLE INNOVATIONS RELATED TO THE ENERGY SECTOR

MAPEO DE TRABAJOS SOBRE INNOVACIONES SOSTENIBLES RELACIONADAS CON EL SECTOR ENERGÉTICO

Alexsandro de Souza Cavalcante¹
Ana Karla de Souza Abud²

Resumo

O mundo enfrenta um grande crescimento populacional nas últimas décadas, aumentando as demandas da sociedade. Uma delas diz respeito às mudanças climáticas e aos seus impactos, como maiores temperaturas e derretimento das geleiras. Outra demanda envolve as atividades que levam ao desenvolvimento, em que ocorre aumento da energia consumida. Este estudo teve como objetivo mapear trabalhos que envolvam tecnologias e práticas sustentáveis relacionadas ao setor energético. A pesquisa se caracterizou como qualitativa e quantitativa, exploratória, de natureza aplicada, bibliográfica e indutiva, com recorte temporal de 2015 a 2024, realizada a partir da base Scopus com as palavras-chave “*sustainable innovation*” AND “*energy*”. Os resultados mostraram que, de 2015 a 2022, houve uma média de 20 publicações/ano, seguida de um aumento exponencial em 2023 e 2024, o que indica a preocupação e a busca por energias renováveis. A Europa foi o continente com maior número de estudos, sendo a Itália e a China os países que mais publicaram. As principais áreas de publicação foram Engenharia, Ciências Ambientais, Negócios, Gestão e Contabilidade e Energia, demonstrando a importância da aliança entre diferentes tecnologias e sustentabilidade para mitigar os efeitos oriundos do aquecimento global.

Palavras-chave: inovação; energia; sustentabilidade.

Abstract

The world has experienced significant population growth in recent decades, increasing society's demands. One of these concerns relates to climate change and its impacts, such as higher temperatures and melting glaciers. Another demand involves activities that lead to development, where there is an increase in energy consumption. This study aimed to map works involving sustainable technologies and practices related to the energy sector. The research was characterized as qualitative and quantitative, exploratory, applied, bibliographic, and inductive, with a time frame from 2015 to 2024, conducted using the Scopus database with the keywords “*sustainable innovation*” AND “*energy*.” The results showed that, from 2015 to 2022, there was an average of 20 publications per year, followed by an exponential increase in 2023 and 2024, indicating growing concern and the search for renewable energies. Europe was the continent with the highest number of studies, with Italy and China as the countries publishing the most. The main publication areas were Engineering, Environmental Sciences, Business, Management and Accounting, and Energy, demonstrating the importance of the alliance between different technologies and sustainability to mitigate the effects of global warming.

Key words: innovation; energy; sustainable.

Resumen

El mundo enfrenta un gran crecimiento poblacional en las últimas décadas, aumentando las demandas de la sociedad. Una de ellas se refiere al cambio climático y sus impactos, como el aumento de las temperaturas y el derretimiento de los glaciares. Otra demanda involucra las actividades que impulsan el desarrollo, donde se

¹ Mestrando em Ciência da Propriedade Intelectual (PPGPI), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0009-0008-5364-245X. E-mail: alexandrocavalcante2023@gmail.com.

² Doutora em Engenharia Química (PEQ/COPPE/UFRJ), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0000-0001-6610-6084. E-mail: ana.abud@gmail.com.

produce un incremento en el consumo de energía. Este estudio tuvo como objetivo mapear trabajos que involucren tecnologías y prácticas sostenibles relacionadas con el sector energético. La investigación se caracterizó como cualitativa y cuantitativa, exploratoria, de naturaleza aplicada, bibliográfica e inductiva, con un recorte temporal de 2015 a 2024, realizada a partir de la base Scopus con las palabras clave “sustainable innovation” AND “energy”. Los resultados mostraron que, de 2015 a 2022, hubo un promedio de 20 publicaciones por año, seguido de un aumento exponencial en 2023 y 2024, lo que indica la preocupación y la búsqueda de energías renovables. Europa fue el continente con mayor número de estudios, siendo Italia y China los países que más publicaron. Las principales áreas de publicación fueron Ingeniería, Ciencias Ambientales, Negocios, Gestión y Contabilidad y Energía, demostrando la importancia de la alianza entre diferentes tecnologías y la sostenibilidad para mitigar los efectos derivados del calentamiento global.

Palabras clave: innovación; energía; sostenibilidad.

1 Introdução

Parte da sociedade está comprometida em buscar ações mais sustentáveis, sobretudo nas últimas décadas. Esse fato é um reflexo da necessidade de mudanças em diversos segmentos para que a natureza seja menos agredida e as futuras gerações possam usufruir de seus benefícios.

As inovações podem ser uma solução para os problemas ambientais. Apesar de não focar especificamente o meio ambiente, a Lei da Inovação (Lei n.º 10.973/2004) busca criar um meio propício para o desenvolvimento de atividades científicas, com pesquisas de qualidade e redução das desigualdades regionais (Brasil, 2004). Outro dispositivo do governo, o Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei n.º 13.243/2016), visa um ambiente favorável à capacitação científica, promovendo a autonomia tecnológica e o desenvolvimento do sistema produtivo nacional com a união entre poderes público e privado (Brasil, 2016).

Uma inovação sustentável, de acordo com o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), diz respeito às novidades, ou seja, soluções que venham a beneficiar os campos econômico, social e ambiental. Conhecido como tripé da sustentabilidade, busca-se satisfazer a parte financeira da organização, mas, também, o meio ambiente e a comunidade em que está inserida, sendo uma solução para amenizar problemas ambientais (SEBRAE, 2023).

A busca por alternativas mais limpas também tem sido objeto de grande interesse no setor industrial. Petkova, Konyashina e Sharafutdinova (2026), por exemplo, mostraram que, ao utilizar ferrato de sódio para tratar a água oriunda da produção de petróleo, o recurso retorna menos poluente para o meio ambiente após o seu descarte, além de ajudar na redução dos custos operacionais. Fang e Hsu (2025), por sua vez, ressaltam a importância de as empresas aderirem à sustentabilidade por meio de estruturas mais eficientes e veículos com uso mais inteligente de energia. Além disso, salientam que as regulamentações governamentais possuem grande relevância na questão, fazendo com que as organizações adotem práticas ecológicas.

Anisimov, Rajabzadeh e Kholmsky (2026) demonstraram que, tratando-se de indústrias com produções semelhantes, é interessante que ocorra o compartilhamento de informações,

com o intuito de se obter eficiência e sustentabilidade. No entanto, pensando na competição acirrada por mais mercados e, conseqüentemente, mais clientes, é algo difícil de acontecer devido ao medo de ceder dados sensíveis para o concorrente.

Além disso, Zhou *et al.* (2025) sustentam que a colaboração entre as organizações pode ser uma atividade positiva. Segundo sua pesquisa, a inovação em colaboração com outros atores da sociedade é algo que está na moda e diz respeito aos benefícios e custos de cada participante.

Alqassimi (2025) analisou a relação de startups com atividades sustentáveis. O estudo demonstrou que algumas barreiras podem existir, mas é essencial que as organizações continuem com os seus investimentos verdes. O trabalho também mostrou a importância do financiamento externo, que, no caso brasileiro, seria papel do poder público, por meio de subsídios e outras ferramentas jurídicas.

Os benefícios para uma empresa que investe em inovações menos poluentes são atrativos, podendo-se destacar uma maior conquista e fidelização de clientes, o fato de a marca poder alcançar novos mercados que exigem ações ecológicas, o fortalecimento da reputação, entre outros. Assim, o investimento pode trazer bons retornos, mas a sociedade também ganha com soluções para os seus problemas e o meio ambiente é menos agredido (SEBRAE, 2023).

Ao analisar os benefícios do investimento em inovações sustentáveis, Cassuriaga *et al.* (2025) citam chances de empregos nas comunidades em que a organização está inserida, condições justas de trabalho e uso de tecnologias associadas ao meio ambiente. Além disso, a reputação empresarial pode melhorar ao considerar ecologia e práticas sociais.

Jamwal, Agrawal e Sharma (2025), verificaram o comportamento de pequenas e médias empresas, pertencentes à Indústria 4.0, no que diz respeito à sustentabilidade. O estudo relatou que, quanto menor era o estágio de maturidade da empresa, havia menos recursos digitais e financeiros para investimentos no campo ecológico. No entanto, pensando a longo prazo, a possibilidade de aplicar o capital com mais consciência ambiental pode auxiliar em menor desperdício de materiais e uma melhor adequação do ciclo de vida de cada produto.

Para Bag *et al.* (2022), que investigaram a relação entre pequenas e médias empresas e economia circular em determinado país em desenvolvimento, as ecoinovações possuem grande influência nas organizações e a gestão da cadeia de suprimentos exerce papel crucial devido à grande quantidade de informações.

O estudo de Paszkowska e Gil (2025), ao analisar uma estrutura que busca relacionar tecnologias e inovações sustentáveis por meio de ferramentas digitais, mostrou como esses elementos ajudam na transição para atitudes mais limpas. Pode-se alcançar uma colaboração digital, maior eficiência e melhor adequação à economia circular. Além disso, os resultados

apontaram que o uso de inteligência artificial e de plataformas digitais auxiliam no melhor gerenciamento de recursos e em um menor impacto no meio ambiente.

A inovação sustentável é, então, uma realidade nos mais diversos segmentos. Para Zywolek, Wolniak e Grebski (2025), a união das tecnologias com a sustentabilidade dentro das empresas pode resultar em uma melhor gestão dos recursos, evitando desperdícios, ampliando a eficiência energética e diminuindo a emissão de gases que geram o efeito estufa.

Para Liang e Xu (2023), os números dos recursos energéticos e ambientais estão piorando devido ao progresso que a China vem alcançando. No entanto, segundo o estudo, as regiões que investem em inovações tecnológicas e consideram o meio ambiente apresentam melhores índices. Outro estudo que relacionou produção de energia e o desenvolvimento chinês é o de Abbasi *et al.* (2022). Os pesquisadores afirmaram que os recursos energéticos utilizados no processo de desenvolvimento do país asiático auxiliaram no aumento da emissão de carbono, prejudicando o meio ambiente e o alcance dos objetivos firmados em acordos para um mundo mais sustentável.

A área energética é um dos setores beneficiados com inovações sustentáveis. Segundo Ainou, Ali e Sadiq (2023), o fornecimento de energia no Marrocos é altamente dependente da importação do recurso, tornando-se necessários investimentos verdes para o alcance de uma matriz mais limpa e renovável. Dessa forma, a diversificação é essencial, inclusive com utilização de fontes eólica e solar, promovendo segurança e diminuindo emissão de gases poluentes. Além disso, a procura por recursos energéticos limpos e com acessibilidade para todos é o 7º ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável), proposto pela ONU (Organização das Nações Unidas) na Agenda 2030 (2025).

Pirayesh, Moghimi e Hosseinalipour (2024) abordaram como um sistema de energia feito para produzir hidrogênio não emite dióxido de carbono e utiliza tecnologias avançadas e fontes renováveis, tornando-se fundamental a busca pelo uso de materiais limpos durante a produção nos mais diversos setores. Tezer *et al.* (2022) também analisaram o hidrogênio na produção de energia mais limpa e demonstraram que o uso de biomassa para gerar recurso energético por meio de gaseificação é um importante instrumento para a sociedade continuar tendo acesso às suas atividades da rotina no futuro.

Ishaq, Dincer e Crawford (2022) analisaram como o hidrogênio vem sendo utilizado para produzir energia, gerando calor para as residências e combustível para carros elétricos, a partir de fontes renováveis, como biomassa, eólica e solar. Os autores ratificaram a importância de as usinas produtoras que utilizam combustíveis fósseis fazerem modificações para que o impacto seja menor no meio ambiente.

Um ponto a ser considerado diz respeito à relação entre o uso da energia e o desenvolvimento da região. Segundo Sun *et al.* (2022), que analisaram o consumo energético em países do Oriente Médio e Norte da África, a utilização de fontes renováveis é essencial para a diminuição da emissão de carbono nas economias da região. O mais interessante é que, de acordo com os pesquisadores, as nações do estudo são altamente urbanizadas e ricas em diversos recursos naturais, ou seja, uma realidade muito próxima a de muitas cidades brasileiras.

Liu, Shen e Razzaq (2023) investigaram os países do G7 entre os anos de 2000 e 2020 no que diz respeito à transição energética. Percebeu-se que as nações do bloco possuem políticas ambientais rigorosas, ainda que enfrentem dificuldades para uma maior utilização dos recursos renováveis na obtenção de eletricidade.

Diante do que foi exposto, surge a necessidade do mapeamento de trabalhos que envolvam tecnologias e práticas sustentáveis na área energética. As empresas podem ter bons resultados com o investimento em produtos ecológicos e a sociedade e o meio ambiente também são beneficiados.

2 Métodos

O trabalho se caracteriza como quantitativo e qualitativo. Segundo Creswell (2010), essa combinação facilita o entendimento do problema, assim como a sua análise, fazendo com que pesquisadores e tomadores de decisões possam ter rápida compreensão sobre o problema e, como consequência, soluções mais ágeis. Em relação ao objetivo, é considerado exploratório, pois, de acordo com Marconi e Lakatos (2017), trata-se de estudo que procura apresentar um maior conhecimento a respeito do tema e, além disso, obter mais informações para o seu conceito.

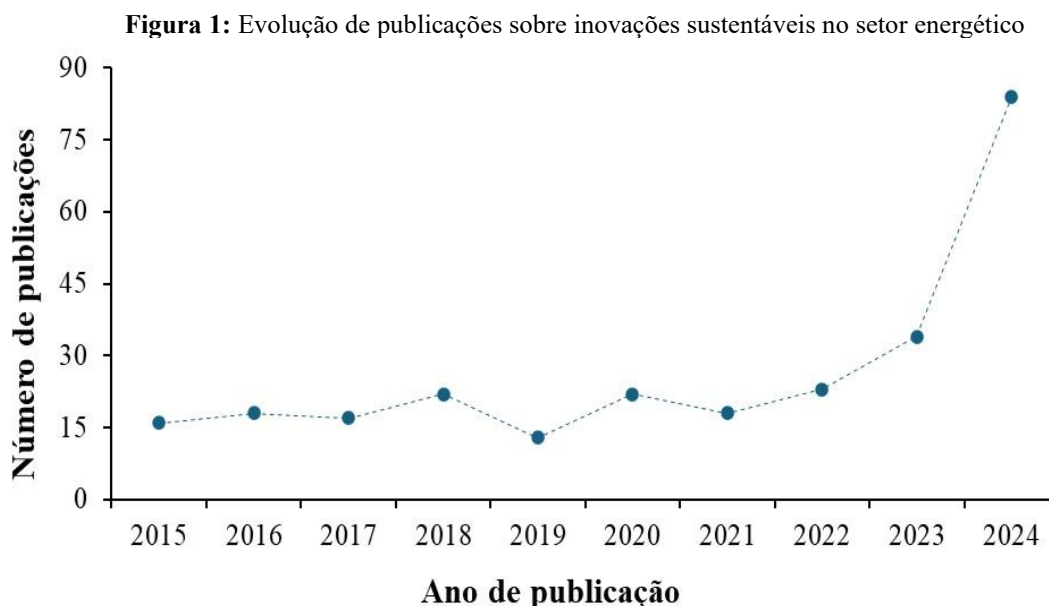
A natureza aplicada deste trabalho, segundo Gil (2008), diz respeito à resolução de problemas da realidade com o conhecimento gerado possibilitando fornecer material para estimular inovações sustentáveis no setor energético. Quanto aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é bibliográfica, uma vez que diz respeito a todo conteúdo publicado sobre o tema, como livros, artigos e meios audiovisuais, o que permite colocar o pesquisador em contato direto com o objeto de estudo (Marconi; Lakatos, 2017).

No que diz respeito aos métodos, o trabalho é indutivo, caracterizado pela análise de fatos concretos e que marcam determinada realidade, fazendo-se uma afirmação geral sobre um fenômeno (Gil, 2008). O recorte temporal deste trabalho é de 2015 a 2024, pois o intuito é ter acesso às pesquisas mais recentes sobre inovações energéticas sustentáveis. As palavras-chave utilizadas na busca foram "*sustainable innovation*" AND "*energy*", sendo o levantamento

realizado na base Scopus pelo alto grau de confiabilidade que ela possui, conseguindo reunir, com qualidade, grande quantidade de material.

3 Resultados e discussão

Foram encontradas 267 publicações envolvendo inovações sustentáveis relacionadas à energia no intervalo estabelecido no estudo. Pode-se observar, na Figura 1, uma média de 20 publicações por ano de 2015 a 2022, passando a 34 trabalhos em 2023 e tendo um salto de quase 2,5 vezes em 2024. A análise vai, também, ao encontro do estudo de Fang e Hsu (2025), que afirmam que as organizações estão procurando ações mais sustentáveis.



Fonte: elaborada pelos autores (2025)

Esse crescimento pode estar relacionado ao plano global para o desenvolvimento sustentável, a Agenda 2030, adotada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, uma vez que inovações sustentáveis desempenham um papel crucial para alcançar os 17 ODS's (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável), especialmente no setor energético, em que a transição para fontes renováveis e a eficiência energética são prioridades.

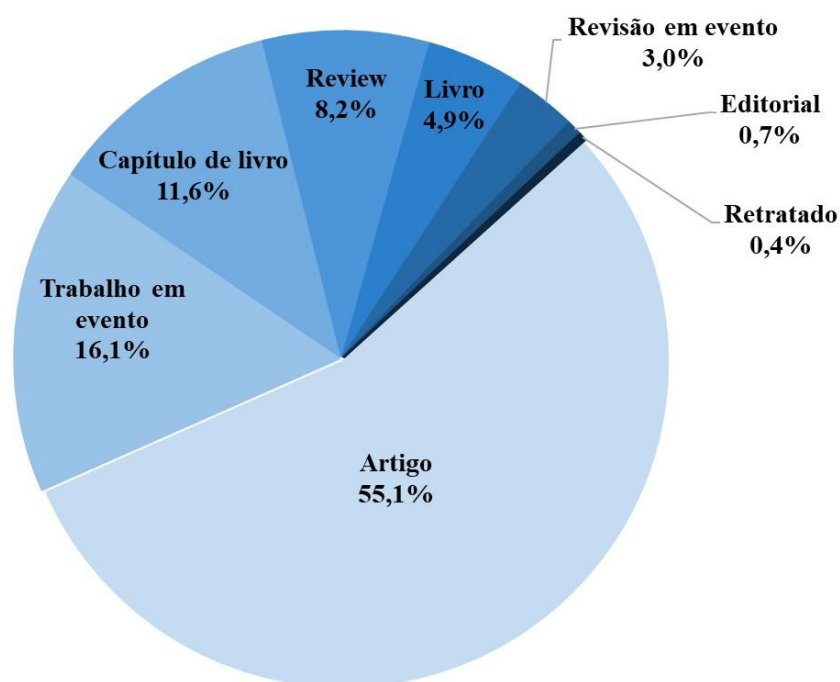
Os números se coadunam ao estudo de Liu *et al.* (2025), que mostra preocupação com investimentos verdes, sobretudo em setores que são poluentes, como o de carros. A busca por fontes mais limpas para a produção de energia pode auxiliar no desenvolvimento de uma região, mas respeitando o meio ambiente.

Além da quantidade de trabalhos, também é importante a qualidade deles. Em publicação sobre transferência de tecnologia e inovação sustentável, Adomako e Tran (2024)

evidenciam que os pesquisadores estão buscando averiguar o cenário em questão. Analisando o ambiente científico brasileiro, observa-se estímulo para a transferência tecnológica por intermédio da Lei n. 13.243/2016.

Em relação ao tipo de documento publicado (Figura 2), apesar de artigos em periódicos corresponderem a mais de 50%, percebe-se o grande movimento de eventos científicos no setor e, por ser um campo recente, a publicação de livros e capítulos de livros.

Figura 2: Tipos de publicações sobre inovações sustentáveis no setor energético



Fonte: elaborada pelos autores (2025)

Outro ponto que merece destaque é o alto percentual de artigos sobre o tema em debate. Esse fato coloca em evidência uma questão que interessa a sociedade como um todo, pois todos são atingidos pelos problemas ambientais. Além disso, é possível esperar o progresso das inovações sustentáveis relacionadas ao setor energético devido à influência e ao estímulo que artigos científicos proporcionam, inclusive fornecendo sugestões para estudos futuros.

Os trabalhos de Tezer *et al.* (2022) e Pirayesh, Moghimi e Hosseinalipour (2024) também demonstram como a busca por inovações sustentáveis no setor energético vem ganhando importância no universo científico. Além disso, a diversificação da matriz energética se mostra crucial na questão em análise, como na relação entre hidrogênio, biomassa e produção de energia. É essencial para um país ter, então, opções para manter as suas atividades, não

Quanto à biodiversidade brasileira, Singh e Yadav (2024) relatam que o país pode utilizar compostos orgânicos para a obtenção de energia, reduzindo o impacto na natureza e mantendo o progresso local, reforçando a necessidade de se pensar no uso dos elementos renováveis para gerar energia. Ishaq, Dincer e Crawford (2022), por exemplo, mostraram a utilização de fontes eólicas, solares e biomassa para obter hidrogênio, gerando material para o setor energético. Como o país é rico em sol, vento e água, para citar alguns exemplos que não afetam o meio ambiente, seria interessante o investimento em uma produção mais sustentável.

Todavia, deve-se analisar a relação entre o desenvolvimento dos países e o seu impacto sobre a natureza. Abbasi *et al.* (2022) publicaram que a China enfrenta problemas com a produção de energia, com o aumento da emissão de carbono. Pensando na realidade do Brasil, que também é uma nação emergente, fundamental buscar fontes mais limpas para a obtenção de recursos energéticos, mas sabendo conciliar o respeito ambiental e o progresso econômico.

No que diz respeito às áreas que mais publicaram sobre inovações sustentáveis relacionadas à energia (Figura 4), destacam-se Engenharia (14,8%) Ciências Ambientais (14,1%) Negócios, Gestão e Contabilidade (14,0%) e Energia (14,0%).

Figura 4: Publicações por área sobre inovações sustentáveis no setor energético



Fonte: elaborada pelos autores (2025)

Esse resultado vai ao encontro da afirmação de Zywiolak, Wolniak e Grebski (2025), de que a aliança entre tecnologias e a sustentabilidade pode render bons frutos, como a melhor gestão dos recursos. Anisimov, Rajabzadeh e Kholmisky (2026), por sua vez, citam a importância do compartilhamento de informações associadas à tecnologia e à sustentabilidade.

Na análise, é interessante notar a grande presença da área de Negócios, Gestão e Contabilidade. Esse fato reforça a afirmação do SEBRAE (2023), que cita alguns benefícios do investimento em inovações sustentáveis, como o alcance de novos mercados. Sendo assim, é importante observar a movimentação empresarial na busca por alternativas mais limpas para o seu desenvolvimento.

Outros dois estudos que reforçam o achado sobre a participação empresarial nas pesquisas são Paszkowska e Gil (2025) e o de Jamwal, Agrawal e Sharma (2025). Nota-se um movimento das organizações, sobretudo de pequenas e médias empresas, na busca por alternativas mais limpas para a obtenção de energia, incluindo o uso de tecnologias sustentáveis para o alcance dos objetivos. Além disso, tem que se destacar o esforço dos negócios com poucos recursos, que buscam investir na proporção do que possuem, mas que podem ter grandes retornos, como menor desperdício, melhora da imagem e menor impacto ambiental.

Um achado que merece uma maior análise é a presença das áreas de Química e Engenharia Química. Apesar dos números de trabalhos não serem expressivos, mostra que os dois campos, que possuem grande importância para as indústrias e para a sociedade no geral, estão preocupados com questões relacionadas às inovações mais limpas.

Os investimentos empresariais também podem render bons frutos na comunidade local, como afirmado por Cassuriaga *et al.* (2025). Na pesquisa, a geração de empregos é uma das consequências de se direcionar capital para inovações sustentáveis, melhorando, inclusive, a relação da organização com o meio em que está inserida. Existe, também, o esforço para atender ao tripé da sustentabilidade, considerando os campos social, econômico e ambiental para auxiliar o progresso do negócio.

Um ponto de destaque é a presença das startups na questão das inovações sustentáveis, como mostra Alqassimi (2025). Pensando que são empresas que operam com grande margem de risco, na maioria dos casos, é interessante notar a sua participação, mesmo com os obstáculos que podem aparecer.

O estudo com maior número de citações (437) é o artigo intitulado “*From laboratory to industrial scale: a scale-up framework for chemical processes in life cycle assessment studies*”, dos autores Fabiano Piccinno, Roland Hischer, Stefan Seeger e Claudia Som, e publicado na revista *Journal of Cleaner Production*, em 2016. O trabalho desenvolveu uma estrutura para escalonamento de processos químicos a partir de dados laboratoriais para estudos de análise de ciclo de vida, permitindo compreender melhor os impactos ambientais de processos químicos em escala industrial, mesmo quando apenas dados laboratoriais estão inicialmente disponíveis. Isso pode levar a decisões mais informadas no desenvolvimento de processos, contribuindo, em

última análise, para uma fabricação química mais sustentável. Ao analisar o ciclo de vida e ações de laboratório químico, mostra que é possível procurar alternativas mais limpas para as indústrias. Essas, por meio de diversas atividades, acabam gerando grande quantidade de poluição, seja em forma de gases ou despejando detritos em locais inapropriados, tornando de extrema importância a busca por opções que menos impactem o meio ambiente.

No mesmo periódico científico, *Journal of Cleaner Production*, o artigo “*Circular economy in the building sector: Three cases and a collaboration tool*”, dos autores Eline Leising, Jaco Quist e Nancy Bocken, publicado em 2018, possui, atualmente, 401 citações. Esse artigo relata três projetos-piloto de economia circular no setor de construção holandês (um novo edifício, uma reforma e um projeto de demolição), em que visões, aprendizado, dinâmica de rede e inovação do modelo de negócios são analisados. Ao mencionar a economia circular e relacioná-la com inovações, mostra que a sustentabilidade pode ser alcançada e demonstra a possibilidade de replicar atitudes inovadoras em diferentes setores, inclusive na busca por recursos energéticos mais limpos.

Um artigo recente, “*Hydrogen-powered horizons: Transformative technologies in clean energy generation, distribution, and storage for sustainable innovation*”, dos autores Surajudeen Sikiru *et al.* (2024), publicado na revista *International Journal of Hydrogen Energy*, possui, atualmente, 224 citações, indicando o potencial desse combustível renovável. O trabalho aborda as diversas tecnologias e avanços para aproveitar as capacidades do hidrogênio em prol de um futuro energético mais limpo, além de pensar na cultura da organização. O fato de ter uma produção energética mais sustentável com o auxílio do hidrogênio é muito válida, mas é necessário que as organizações que usarão essas ferramentas tenham que disseminar ideias mais ecológicas dentro do próprio ambiente, colocando em prática e fortalecendo os ideais, como afirmam Bernardi, Cantù e Cedrola (2022).

Os resultados demonstraram, então, que o universo científico está buscando inovações sustentáveis relacionadas ao setor energético. Esse fato é importante, pois tecnologias limpas auxiliam no progresso, mas também diminuem os impactos que a natureza sofre, além do contexto social, já que a relação com a comunidade em que a organização está inserida pode melhorar.

4 Considerações finais

O planeta, devido ao crescimento populacional e às conseqüentes necessidades, passa por muitas mudanças. Algumas delas são as climáticas, que causam graves problemas, como

temperaturas mais altas, enchentes, elevação dos oceanos, entre outros. Esses acontecimentos fazem com que boa parte da população enfrente perdas financeiras e humanas consideráveis.

O mapeamento indicou que a busca por soluções inovadoras e ecológicas relacionadas ao setor energético é fundamental para o funcionamento de um país e pesquisas sobre o tema cresceram, principalmente a partir de 2023, possivelmente motivadas pela Agenda 2030 e pelo aquecimento global. Em relação aos documentos publicados, o destaque é para os artigos científicos, nos quais os pesquisadores abordam um tema que interessa para a sociedade, já que inovações sustentáveis podem, além de mitigar problemas ambientais, trazer benefícios a todos.

No que diz respeito aos países que mais publicaram. Itália, China e Alemanha estão entre as nações que mais produziram trabalhos. Os dois europeus fazem parte do G7, um grupo com dificuldades para utilizar fontes renováveis para obter energia, o que revela esforço desses países membros na busca por mitigação dos efeitos ambientais. É interessante observar que grandes economias têm se movimentado na busca por alternativas sustentáveis para o seu desenvolvimento e o mesmo vale para a China, um dos destaques do achado e, também, uma das potências econômicas do planeta.

No caso do Brasil, o número apresentado foi baixo, revelando pouco investimento nacional na busca por energia mais limpa. Essa informação, que já é preocupante devido aos problemas ambientais, é ainda mais quando são considerados os recursos naturais disponíveis no país, que podem servir para gerar eletricidade, como sol, vento e componentes orgânicos que produzem biomassa.

Entre os campos importantes para a sustentabilidade no setor energético, destacaram-se a Engenharia, as Ciências Ambientais, os Negócios, Gestão e Contabilidade, bem como a Energia, mostrando a preocupação e parceria entre diferentes setores em prol da busca por energias renováveis. Um achado interessante diz respeito à participação do hidrogênio na produção de energia sustentável, inclusive em carros elétricos, menos poluentes do que os veículos tradicionais. É necessário utilizá-lo em larga escala, incluindo na indústria, um dos setores que mais poluem dentro da sociedade.

Este estudo, como contribuição teórica, fornece informações valiosas a respeito das inovações sustentáveis ligadas ao setor energético, como tendência de pesquisa ao longo dos últimos 10 anos, países que mais publicaram e trabalhos mais citados.

Como contribuição prática, empresários e gestores públicos podem incorporar as ideias em organizações ou na sociedade. A tendência é que, ao praticar as ações relatadas neste estudo, o desenvolvimento econômico continue, mas com menos impactos no meio ambiente, além de melhorar a relação com a comunidade, inclusive com a possibilidade de geração de empregos.

Para futuros estudos, sugere-se expandir a pesquisa para outras áreas fundamentais à economia do país, se possível com o desenvolvimento de alguma estrutura que possibilite ganhos econômicos, sem esquecer os impactos ambientais e a comunidade.

Referências

ABBASI, K. R. Analyze the environmental sustainability factors of China: The role of fossil fuel energy and renewable energy. **Renewable Energy**, v. 187, p. 390-402, 2022. DOI: 10.1016/j.renene.2022.01.066. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148122000763>. Acesso em: 15 set. 2025.

ADOMAKO, S.; TRAN, M. D. Exploring the effect of R&D support, green technology transfer, sustainable innovation. **Sustainable Development**, v. 32, n. 5, p. 4758-4769, 2024. DOI:10.1002/sd.2936. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.2936?utm_medium=article&utm_source=researchgate.net. Acesso em: 15 set. 2025.

AINOU, F. Z.; ALI, M.; SADIQ, M. Green energy security assessment in Morocco: Green finance as a step toward sustainable energy transition. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 61411–61429, 2023. DOI: 10.1007/s11356-022-19153-7. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8852948/>. Acesso em: 15 set. 2025.

ALQASSIMI, O. Innovative Pathways to Net-Zero: The Role of Startups in Accelerating Circular Economy Transitions. **International Review of Management and Marketing**, v. 15, n. 3, p. 266–274, 2025. DOI: <https://doi.org/10.32479/irmm.19443>. Disponível em: <https://econjournals.com/index.php/irmm/article/view/19443/8774>. Acesso em: 15 set. 2025.

ANISIMOV, K. A.; RAJABZADEH, M. A.; KHOLMSKY, A. V. Prospects for chromite ore mining in Russia based on a comparative analysis of mining-geological conditions of deposit development in Russia and Iran. **International Journal of Engineering**, v. 39, n. 1, p. 192-201, 2026. DOI: 10.5829/ije.2026.39.01a.15. Disponível em: https://www.ije.ir/article_220712_30933cbc315d95275b9b417cd9c8c1b6.pdf. Acesso em: 15 set. 2025.

AYASSAMY, P. A Review of Hawaii and Plastic Pollution: Potential Innovations within Circular Economy? **Environmental Management**, v. 75, p. 2395–2413, 2025. DOI: 10.1007/s00267-025-02134-0. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-025-02134-0>. Acesso em: 15 set. 2025.

BAG, S. *et al.* Effect of eco-innovation on green supply chain management, circular economy capability, and performance of small and medium enterprises. **Journal of Business Research**, v. 141, p. 60-72, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.12.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296321009255>. Acesso em: 15 set. 2025.

BRASIL. Lei n.º 10.973, de 2 de dezembro de 2004. **Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências.** Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20042006/2004/Lei/L10.973.htm. Acesso em: 15 set. 2025.

BRASIL. Lei n.º 13.243, de 11 de janeiro de 2016. **Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação**. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20152018/2016/Lei/L13243.htm. Acesso em: 15 set. 2025.

CASSURIAGA, B. *et al.* Enhancing social life cycle assessment through stakeholder engagement: Development of a new cellulose-based material. **Sustainable Production and Consumption**, v. 56, p. 632-656, 2025. Disponível em:

<https://researchportal.ulisboa.pt/en/publications/enhancing-social-life-cycle-assessment-through-stakeholder-engage/>. Acesso em: 24 fev. 2026.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FANG, C. C.; HSU, C. C. Enhancing efficiency in supply chain management: A synergistic approach to production, logistics, and green investments under different carbon emission policies. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 16, p. 159176, 2025. DOI: 10.5267/j.ijiec.2024.10.004. Disponível em:

https://www.growingscience.com/ijiec/Vol16/IJIEC_2024_33.pdf. Acesso em: 15 set. 2025.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

ISHAQ, H.; DINCER, I.; CRAWFORD, C. A review on hydrogen production and utilization: Challenges and opportunities. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 47, n. 62, p. 26238-26264, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.11.149>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921045377>. Acesso em: 15 set. 2025.

JAMWAL, A.; AGRAWAL, R.; SHARMA, M. Developing a maturity model for Industry 4.0 practices in manufacturing SMEs. **Operations Management Research**, v. 18, p. 111–143, 2025. DOI: 10.1007/s12063-025-00545-0. Disponível em: https://ideas.repec.org/a/spr/opmare/v18y2025i1d10.1007_s12063-025-00545-0.html. Acesso em: 15 set. 2025.

LEISING, E.; QUIST, J.; BOCKEN, N. Circular economy in the building sector: Three cases and a collaboration tool. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 976-989, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617329402>. Acesso em: 15 set. 2025.

LIANG, L.; XU, K. Convergence analysis of regional sustainable innovation efficiency in China. **Environment, Development and Sustainability**, v. 25, p. 2758–2776, 2023. DOI: 10.1007/s10668-022-02159-z. Disponível em: <https://doi-org.ez20.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10668-022-02159-z>. Acesso em: 15 set. 2025.

LIU, C. *et al.* How green finance policy catalyzes innovation in industrial clusters: Lessons from China's new energy vehicle sector. **Structural Change and Economic Dynamics**, v.

75, p. 20-31, 2025. DOI: 10.1016/j.strueco.2025.05.005. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/streco/v75y2025icp20-31.html>. Acesso em: 15 set. 2025.

LIU, W.; SHEN, Y.; RAZZAQ, A. How renewable energy investment, environmental regulations, and financial development derive renewable energy transition: Evidence from G7 countries. **Renewable Energy**, v. 206, p. 1188-1197, 2023. DOI: 10.1016/j.renene.2023.02.017. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v206y2023icp1188-1197.html>. Acesso em: 15 set. 2025.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8ª ed. São Paulo: Atlas, 2017.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/ptbr/sdgs>. Acesso em: 18 jul. 2025.

PAN, W. *et al.* Digital economy: An innovation driver for total factor productivity. **Journal of Business Research**, v. 139, p. 303-311, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.09.061>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296321007128>. Acesso em: 15 set. 2025.

PASZKOWSKA, A. F.; GIL, A. U. The Digital-Sustainability Ecosystem: A conceptual framework for digital transformation and sustainable innovation. **Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation**, v. 21, n. 2, p. 116-137, 2025. DOI: <https://doi.org/10.7341/20252127>. Disponível em: <https://jemi.edu.pl/vol-21-issue-2-2025/the-digital-sustainability-ecosystem-a-conceptual-framework-for-digital-transformation-and-sustainable-innovation>. Acesso em: 15 set. 2025.

PETKOVA, A. P.; KONYASHINA, A. I.; SHARAFUTDINOVA, G. R. Electrochemical synthesis of sodium ferrate and its application in wastewater treatment systems: A field case study. **International Journal of Engineering**, v. 39, n. 2, p. 523-533, 2026. DOI: 10.5829/ije.2026.39.02b.18. Disponível em: https://www.ije.ir/article_222857.html. Acesso em: 15 set. 2025.

PICCINNO, F.; *et al.* From laboratory to industrial scale: A scale-up framework for chemical processes in life cycle assessment studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 1085-1097, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.164>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616308514>. Acesso em: 15 set. 2025.

PIRAYESH, M.; MOGHIMI, M.; HOSSEINALIPOUR, S. M. Optimization and performance analysis of a hybrid system for hydrogen production: Thermodynamic, economic, and environmental perspectives. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 95, p. 427-448, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.11.145>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319924048274>. Acesso em: 15 set. 2025.

SEBRAE. Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Rio Grande do Norte. **O que é inovação sustentável e como aplicá-la**. 2023. Disponível em: <https://blog.rn.sebrae.com.br/inovacao-sustentavel/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

SIKIRU, S. *et al.* Hydrogen-powered horizons: Transformative technologies in clean energy generation, distribution, and storage for sustainable innovation. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 56, p. 1152-1182, 2024. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.12.186. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360319923064868>. Acesso em: 15 set. 2025.

SINGH, A.; YADAV, B. P. Sustainable innovations and future prospects in construction material: a review on natural fiber-reinforced cement composites. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, p. 62549–62587, 2024. DOI: 10.1007/s11356-024-35236-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-024-35236-z>. Acesso em: 15 set. 2025.

SUN, Y. *et al.* How do renewable energy and urbanization cause carbon emissions? Evidence from advanced panel estimation techniques. **Renewable Energy**, v. 185, p. 996-1005, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.112>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148121018395>. Acesso em: 15 set. 2025.

TEZER, O. *et al.* Biomass gasification for sustainable energy production: A review. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 47, n. 34, p. 15419-15433, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.158>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319922007728>. Acesso em: 15 set. 2025.

ZHOU, Y. *et al.* Key Resource Sharing and Sustainable Innovation in Innovation Consortium: A Multiagent Collaboration and Multihelix Perspective. **Managerial and Decision Economics**, v. 46, n. 7, p. 3935-3947, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1002/mde.4563>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mde.4563?af=R>. Acesso em: 15 set. 2025.

ZYWIOLEK, J.; WOLNIAK, R.; GREBSKI, W. W. From traditional to digital: The paradigm shift in the energy sector through green innovation. **Energy Reports**, v. 14, p. 116, 2025. DOI: 10.1016/j.egy.2025.05.080. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484725003609?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2025.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Data de submissão: 29/09/2025

Data de aceite: 10/02/2026