

TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS EM ENERGIA E TRANSPORTE: UMA REVISÃO

1 INTRODUÇÃO

A transição para um modelo de desenvolvimento de baixo carbono constitui um dos maiores desafios globais do século XXI, situando os setores de energia e transporte no centro da agenda de sustentabilidade. Juntos, esses dois segmentos respondem por mais de 70% das emissões mundiais de gases de efeito estufa, o que exige inovações tecnológicas capazes de conciliar crescimento econômico, segurança energética e mitigação das mudanças climáticas (IEA, 2023). Nesse contexto, o debate sobre tecnologias sustentáveis tem se consolidado como eixo estratégico para o cumprimento das metas do Acordo de Paris e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 7, que propõe energia limpa e acessível, e o ODS 11, voltado a cidades e comunidades sustentáveis (ONU, 2015).

A literatura científica recente tem ressaltado o papel das energias renováveis e da mobilidade sustentável como pilares da chamada transição energética justa. Fontes como a solar e a eólica, somadas ao avanço de baterias de lítio e ao hidrogênio verde, têm ampliado sua participação nas matrizes energéticas globais, reduzindo custos e tornando viável a expansão de sistemas de baixo carbono (Goldstein; Leal-Arca, 2021). No transporte, destacam-se os veículos elétricos e híbridos, os biocombustíveis e os sistemas inteligentes de mobilidade. Segundo o relatório *Global EV Outlook 2024*, as vendas de veículos elétricos atingiram 14 milhões de unidades em 2023, representando 18% das vendas globais de automóveis, com projeções de alcançar 45% até 2030 (IEA, 2024).

No Brasil, o debate sobre tecnologias sustentáveis apresenta singularidades. A matriz elétrica nacional é relativamente limpa, com mais de 80% de participação de fontes renováveis, sobretudo hidrelétricas (EPE, 2023). Entretanto, a forte dependência do transporte rodoviário movido a diesel e gasolina limita os avanços em mobilidade urbana sustentável. Apesar disso, iniciativas como o programa RenovaBio, o fortalecimento da indústria do etanol e a expansão da geração solar distribuída têm reforçado a imagem do país como um laboratório de soluções sustentáveis (Goldemberg; Lucon, 2012; MME, 2020). Todavia, a adoção em larga escala de ônibus elétricos e de infraestrutura de recarga ainda encontra barreiras regulatórias, financeiras e tecnológicas (WORLD BANK, 2022).

Além disso, do ponto de vista acadêmico, verifica-se um crescimento expressivo da produção científica dedicada às tecnologias sustentáveis em energia e transporte. Contudo, essa produção permanece fragmentada, tanto em termos de recorte geográfico quanto temático. Estudos de revisão demonstram que a maioria das publicações está concentrada em países desenvolvidos, relegando menor visibilidade às experiências do Sul Global (Kohler et al., 2019). Além disso, há predomínio de análises de caráter técnico, centradas em eficiência energética e emissões, em detrimento de abordagens interdisciplinares que contemplem dimensões sociais, institucionais e econômicas da difusão tecnológica (Marques; Santos, 2023; Tahir et al., 2025).

Diante desse panorama, justifica-se a realização de uma revisão bibliométrica sobre tecnologias sustentáveis em energia e transporte entre 2008 e 2024, de modo a mapear tendências, identificar lacunas e fornecer subsídios tanto para a formulação de políticas públicas quanto para estratégias empresariais alinhadas à Agenda 2030 da ONU (ONU, 2015). Assim, o problema de pesquisa que orienta este estudo pode ser sintetizado na seguinte questão: como a produção científica internacional e latino-americana tem abordado as tecnologias sustentáveis em energia e transporte nesse período, e quais tendências, lacunas e oportunidades podem ser identificadas por meio de uma análise bibliométrica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conceito de inovação sustentável tem adquirido centralidade no debate acadêmico e político à medida que cresce a urgência por soluções capazes de conciliar desenvolvimento econômico, justiça social e preservação ambiental. De acordo com Barbieri et al. (2010), esse tipo de inovação não se limita a criar novos produtos e processos, mas também deve promover benefícios sociais e reduzir impactos negativos ao meio ambiente. Nesse mesmo sentido, Kemp e Pearson (2007) introduziram o termo *eco-inovação* como uma vertente específica da inovação sustentável, associada à adoção de práticas organizacionais e tecnológicas que diminuem o uso de recursos naturais e a emissão de poluentes. Mais recentemente, Goldstein e Leal-Arcas (2021) reforçam que esse processo deve ser entendido como parte de uma transição sociotécnica, em que mudanças institucionais, regulatórias e culturais interagem com o desenvolvimento tecnológico.

A partir dessa concepção mais ampla, é possível compreender o papel das tecnologias renováveis de energia na promoção da sustentabilidade. Nos últimos anos, fontes como a solar, a eólica, a biomassa e o hidrogênio verde vêm ganhando espaço nos sistemas energéticos globais. Esse avanço decorre não apenas da redução dos custos tecnológicos, mas também de políticas de incentivo em escala internacional (IEA, 2023). Além de contribuir para a mitigação das emissões de carbono, essas fontes fortalecem a segurança energética e diversificam as matrizes nacionais.

De forma complementar, o campo dos transportes sustentáveis desponta como um dos grandes desafios da agenda climática. Os veículos elétricos, híbridos e movidos a biocombustíveis, bem como soluções digitais para mobilidade urbana, constituem alternativas para reduzir a dependência de combustíveis fósseis. O *Global EV Outlook 2024* aponta que, em 2023, as vendas globais de veículos elétricos chegaram a 14 milhões de unidades, o equivalente a 18% das vendas de automóveis, com projeções que podem alcançar 45% até 2030 (IEA, 2024). No caso brasileiro, o setor de biocombustíveis consolidou-se como referência internacional, sobretudo pela experiência com o etanol. Contudo, a penetração dos veículos elétricos ainda é tímida, devido a barreiras regulatórias, financeiras e à limitada infraestrutura de recarga (WORLD BANK, 2022). Estudos recentes, como o de Tahir et al. (2025), indicam que a integração entre a mobilidade elétrica e as fontes renováveis pode constituir um caminho promissor, mas depende de políticas públicas consistentes e de maior engajamento do setor privado.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo consiste em uma revisão bibliométrica, com o objetivo de mapear e analisar a produção científica relacionada à propriedade intelectual e sua aplicação no contexto da inovação tecnológica. A revisão bibliométrica foi escolhida por sua capacidade de sistematizar grandes volumes de informação, permitindo identificar tendências de pesquisa, autores-chave, periódicos de maior relevância e lacunas no campo, ao fornecer uma visão abrangente sobre o estado atual do conhecimento e apontando áreas que necessitam de maior aprofundamento (Donthu et al., 2021).

O processo metodológico envolveu a coleta de dados na base *Web of Science*, reconhecida pela ampla cobertura internacional e para contemplar a produção regional em português e espanhol. Após a coleta, os metadados foram tratados e padronizados, para eliminar as duplicidades, registros incompletos e inconsistências de indexação em nomes de autores, instituições e palavras-chave, de modo a garantir a consistência da amostra analisada. Os descritores de busca encontram-se no Quadro 1.

tecnologias limpas e novos modelos de negócio. A presença de termos como *market*, *firm*, *industry* e *network* evidencia a preocupação com a dinâmica empresarial e as redes de colaboração que possibilitam a difusão de inovações. Nesse sentido, os resultados dialogam com a realidade de países emergentes, como o Brasil, onde iniciativas de inovação aberta e parcerias público-privadas vêm sendo adotadas para estimular a produção de biocombustíveis, veículos híbridos e soluções em eficiência energética. Contudo, observa-se que a adoção de tecnologias sustentáveis é desigual entre setores e empresas, refletindo barreiras financeiras e regulatórias que ainda limitam a transição industrial no Sul Global.

O segundo cluster, representado em verde, aprofunda essa discussão ao destacar a relação entre crescimento econômico, consumo de energia renovável e emissões de carbono. Palavras-chave como *economic growth*, *renewable energy consumption*, *GDP*, *carbon emissions* e *policy implication* apontam para a predominância de análises quantitativas, baseadas em modelos econométricos, que avaliam a contribuição das energias renováveis para o desenvolvimento econômico. Além disso, esses estudos frequentemente testam hipóteses relacionadas à Curva de Kuznets Ambiental, buscando verificar se é possível compatibilizar crescimento econômico e redução de emissões. No caso brasileiro, essa discussão é particularmente relevante: embora a matriz elétrica seja majoritariamente renovável, com expansão da energia solar e eólica (EPE, 2023), persistem contradições associadas ao transporte rodoviário movido a combustíveis fósseis e à expansão da fronteira agrícola. Portanto, o cluster verde traz à tona um dilema fundamental: como equilibrar competitividade econômica, segurança energética e mitigação climática em países em desenvolvimento.

De forma complementar, o terceiro cluster, em azul, embora menor em extensão, desempenha um papel estratégico como ponte temática entre os demais eixos. Esse grupo enfatiza o impacto do investimento estrangeiro direto, da governança institucional e do capital humano na difusão de tecnologias sustentáveis. Termos como *foreign direct investment*, *human capital* e *institutional quality* revelam que parte da literatura examina como fluxos de capitais internacionais, políticas de financiamento verde e qualificação da mão de obra podem acelerar a transição para uma economia de baixo carbono. Nesse contexto, a realidade latino-americana ilustra bem a relevância desses fatores: em países como o Brasil, a difusão de veículos elétricos e o desenvolvimento de infraestrutura de recarga dependem fortemente de investimentos externos e de programas de cooperação internacional.

Em síntese, os três clusters evidenciam que a literatura científica sobre energia e transporte sustentáveis não se restringe a questões técnicas, mas abrange dimensões econômicas, institucionais e sociais. Enquanto o cluster vermelho reforça a importância da inovação empresarial e da transição industrial, o verde problematiza a relação entre crescimento econômico e mitigação climática, e o azul ressalta os condicionantes de investimento e governança. Assim, a configuração encontrada confirma o caráter multidimensional da transição para uma economia de baixo carbono, revelando que avanços significativos nesse campo dependem não apenas da adoção de tecnologias renováveis, mas também da criação de marcos regulatórios consistentes, políticas públicas inclusivas e mecanismos de financiamento que viabilizem a transformação socioeconômica, sobretudo em países do Sul Global.

À luz dos resultados desta revisão bibliométrica, torna-se evidente a necessidade de que pesquisas futuras ampliem a cobertura sobre o Sul Global, especialmente América Latina e África, regiões ainda sub-representadas na literatura internacional. Essa lacuna limita a compreensão de como condicionantes institucionais, barreiras estruturais e restrições financeiras influenciam a difusão de tecnologias sustentáveis em contextos de desigualdade social e econômica. Ademais, observa-se o predomínio de abordagens estritamente quantitativas, centradas em eficiência energética e emissões de carbono, o que aponta para a importância de investigações interdisciplinares capazes de integrar variáveis tecnológicas, econômicas, sociais e culturais. Nesse sentido, recomenda-se o desenvolvimento de estudos que

explorem a eficácia de políticas públicas inclusivas, instrumentos de financiamento verde, modelos de governança multinível e iniciativas de inovação social, de modo a oferecer respostas mais abrangentes e aplicáveis aos desafios da transição energética. Complementarmente, pesquisas comparativas entre países e setores produtivos distintos podem revelar padrões de sucesso e entraves recorrentes, ao fornecer subsídios valiosos para o desenho de estratégias de mobilidade sustentável e de expansão das energias renováveis, alinhadas a uma transição justa e equitativa.

5 CONCLUSÃO

A revisão bibliométrica realizada entre 2008 e 2024 permitiu mapear a evolução da produção científica sobre tecnologias sustentáveis em energia e transporte, identificando tendências, lacunas e oportunidades de investigação. A análise de clusters revelou três grandes eixos interconectados: a inovação empresarial e as transições industriais, a relação entre crescimento econômico, energias renováveis e emissões de carbono, e o papel do investimento estrangeiro, da governança e do capital humano na difusão de práticas sustentáveis. Essa configuração evidencia que o debate acadêmico sobre sustentabilidade não se limita ao campo tecnológico, mas integra dimensões econômicas, sociais e institucionais, refletindo o caráter multidimensional da transição para uma economia de baixo carbono.

Os resultados mostram que, embora haja consolidação de estudos em países desenvolvidos, as experiências do Sul Global ainda são sub-representadas, o que reforça a necessidade de ampliar o olhar sobre contextos latino-americanos. No Brasil, em particular, a predominância de uma matriz elétrica renovável contrasta com os desafios do setor de transportes, marcado pela dependência de combustíveis fósseis e pela baixa difusão de veículos elétricos. Nesse cenário, políticas públicas robustas, investimentos externos e parcerias institucionais emergem como condições fundamentais para acelerar a inovação sustentável.

Conclui-se, portanto, que a literatura científica avança no sentido de construir bases teóricas e empíricas sobre energia e transporte sustentáveis, mas ainda carece de abordagens mais integradas que articulem variáveis técnicas, econômicas e sociais. Além disso, a inclusão de perspectivas regionais, especialmente da América Latina, pode enriquecer a compreensão sobre como diferentes realidades enfrentam os desafios da transição energética. Ao sistematizar esse conhecimento, este estudo contribui não apenas para o avanço acadêmico, mas também para o desenho de políticas públicas e estratégias empresariais alinhadas à Agenda 2030 da ONU, reforçando a importância de uma transição energética justa, inclusiva e globalmente equilibrada.

REFERÊNCIAS

BARBIERI, J. C. et al. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. *Revista de Administração de Empresas*, v. 50, n. 2, p. 146-154, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-75902010000200002>.

ECOGESTÃO BRASIL. Uso de veículos elétricos: uma análise bibliométrica. *Revista Ecogestão Brasil*, v. 12, n. 30, p. 1-15, 2025. Disponível em: <https://revista.ecogestaobrasil.net/v12n30/v12n30a38a.html>.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço Energético Nacional 2023: ano-base 2022*. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. *Energia e meio ambiente no Brasil*. São Paulo: EDUSP, 2012.

GOLDSTEIN, A.; LEAL-ARCAS, R. Sustainable energy innovation. *Energy Policy*, v. 158, 2021.

GOLDSTEIN, A.; LEAL-ARCAS, R. Sustainable energy innovation. *Energy Policy*, v. 158, p. 112–124, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112124>.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Global EV Outlook 2024*. Paris: IEA, 2024.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023.

KEMP, R.; PEARSON, P. Final report MEI project about measuring eco-innovation. Maastricht: UM-MERIT, 2007.

KÖHLER, J. et al. An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 31, p. 1–32, 2019.

MACHADO, L. A.; ÁVILA, M. F.; CARVALHO JR., A. Análise bibliométrica do biometano no Brasil. *Energies*, v. 17, n. 12, p. 2920, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17122920>.

MARQUES, L. S.; SANTOS, R. A bibliometric study on the nexus of economic growth and renewable energy in Brazil. *Renewable Energy Research Journal*, v. 45, n. 2, p. 233-250, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/369386319_A_Bibliometric_Study_on_the_Nexus_of_Economic_Growth_and_Renewable_Energy_in_Brazil.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Plano Nacional de Energia 2050*. Brasília: MME, 2020.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova Iorque: ONU, 2015.

TAHIR, N. et al. Electric vehicles and renewable energy for sustainable transportation system in Brazil: a multi-faceted perspective. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 66, p. 102010, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2025.102010>.

WORLD BANK. *Electric Mobility Program in Latin America*. Washington: World Bank, 2022.