

EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DAS TENDÊNCIAS DE PESQUISA

GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN ROAD FREIGHT TRANSPORT: A BIBLIOMETRIC REVIEW OF RESEARCH TRENDS

Alberto Mauricio Souza Correa^{1*}, Cintia Isabel De Campos², Carlos Eduardo Sanches de Andrade³

^{1*2} [Universidade Federal de Goiás \(UFG\), Goiânia, Goiás, Brasil.](#) ³ [COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro \(UFRJ\), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.](#)

^{1*} albertomauricio@discente.ufg.br ² cintiacampos@ufg.br ³ carlos.sanches@ufg.br

*Autor Correspondente: Correa, A. M S.

RESUMO: O aquecimento global é impulsionado por gases de efeito estufa (GEE), sendo os transportes um dos principais vetores. Este estudo analisou a evolução da produção científica global sobre as emissões de GEE na operação do transporte rodoviário de cargas. A metodologia envolveu uma revisão bibliométrica quantitativa nas bases Scopus e Web of Science, com a seleção, com o suporte de inteligência artificial, de 1.042 artigos publicados até 2025. Os resultados apontam um crescimento anual de 13% nas publicações, alinhado aos marcos climáticos globais. A rede de cooperação concentra-se nos EUA, China e Europa, com liderança institucional da Universidade de São Paulo. Constatou-se uma mudança temática na literatura que evoluiu do monitoramento químico local nos anos 2000 para a gestão logística e na eficiência de frotas pesadas. Como lacuna, identificou-se o distanciamento entre a engenharia de motores e a otimização gerencial. Frotas a diesel ainda centralizam o conhecimento da literatura, enquanto a eletrificação e combustíveis alternativos emergem como possíveis frentes na descarbonização.

PALAVRAS - CHAVE: Emissões Rodoviárias; Logística Sustentável; Veículos Pesados.

ABSTRACT: The Global warming is driven by greenhouse gases (GHG), with the transport sector serving as a primary contributor. This study analyzed the evolution of global scientific output regarding GHG emissions from road freight transport operations. The methodology employed a quantitative bibliometric review using the Scopus and Web of Science databases, selecting 1,042 articles published up to 2025 with the aid of artificial intelligence. The results indicate a 13% annual growth in publications, aligning with global climate milestones. The collaboration network is concentrated in the USA, China, and Europe, with the University of São Paulo holding institutional leadership. A thematic shift was observed in the literature, evolving from local chemical monitoring in the 2000s to a focus on logistics management and heavy-duty fleet efficiency. A gap was identified regarding the disconnect between engine engineering and managerial optimization. Diesel fleets remain the central focus of the literature, while electrification and alternative fuels are emerging as potential avenues for decarbonization.

KEYWORDS: Road Transport Emissions; Sustainable Logistics; Heavy-Duty Vehicles.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global no século XXI é impulsionado pelo aumento, sem precedentes, na concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) e poluentes atmosféricos. Esse cenário, que resulta em fenômenos como o efeito *smog* e a chuva ácida, atinge diretamente a saúde pública, provocando doenças respiratórias e alergias crônicas (Drumm *et al.*, 2014). Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), os setores de energia e transportes são os grandes motores desse problema, liberando volumes massivos dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) através da queima de combustíveis fósseis.

No cenário global, a China consolida-se como o maior emissor de GEE decorrentes do frete entre as grandes nações industriais, seguida pelos Estados Unidos (Abbood *et al.*, 2023; Fry *et al.*, 2024; Inkinen & Hämäläinen, 2020). Esse protagonismo chinês é impulsionado por um crescimento econômico e urbanização acelerada que, somados ao aumento populacional, elevam drasticamente a demanda logística e o volume de emissões associadas (Abbood *et al.*, 2023; Habib *et al.*, 2021; Lv *et al.*, 2019). Embora o transporte represente uma parte expressiva das emissões norte-americanas, seu volume absoluto permanece inferior ao chinês, reflexo de distinções no ritmo de expansão econômica e nas respectivas estruturas produtivas (Abbood *et al.*, 2023; Fry *et al.*, 2024).

Segundo Suproń & Łacka (2023), em 2020, o frete rodoviário foi responsável por 76,7% das emissões de GEE do setor de transportes na União Europeia. Esse dado evidencia a forte dependência desse modo para a movimentação interna de mercadorias, onde, apesar de grandes esforços regulatórios e avanços tecnológicos, a integração regional e a intensa atividade econômica mantêm as taxas de emissão em patamares elevados.

Essa dinâmica entre as emissões e a economia é confirmada por análises em sete países industriais, China, Japão, EUA, Canadá, Brasil, Reino Unido e Alemanha, que demonstram uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre o Produto Interno Bruto (PIB), o tamanho da população, o nível de urbanização e a pegada de carbono do frete (Abbood *et al.*, 2023). O desenvolvimento econômico e a expansão urbana não apenas aumentam a demanda por bens de consumo, mas intensificam a necessidade de logística de longa distância, fator crítico em países de dimensões continentais como China, EUA, Canadá e Brasil (Abbood *et al.*, 2023; Lv *et al.*, 2019; Habib *et al.*, 2021). Assim, as regiões mais urbanizadas acabam por centralizar atividades industriais e comerciais que retroalimentam o ciclo de uso intensivo do transporte rodoviário.

Nesse cenário, Alencar e Delesposte (2020) apontam que mesmo com tecnologias de mitigação e acordos internacionais, as emissões continuam crescendo porque os interesses econômicos, muitas vezes, barram a adoção sistêmica de energias limpas. Essa barreira tecnológica ocorre pela complexidade intrínseca ao controle de poluentes em motores a combustão interna. Conforme revisado por Resitoglu *et al.* (2014), as regulamentações cada vez mais restritivas (como as normas Euro) forçaram a indústria a adotar soluções complexas, evidenciando que poluentes como NO_x e material particulado exigem abordagens distintas. Enquanto o primeiro requer controle térmico e químico preciso, a segunda demanda sistemas de filtragem física que nem sempre acompanham o ritmo do crescimento da frota global.

Um marco tecnológico nesse controle é o sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR), cuja viabilidade técnica foi fundamentada por Koebel *et al.* (2000). Os autores demonstraram que a utilização de ureia em solução aquosa (conhecida comercialmente no Brasil como ARLA 32) é a solução mais promissora para decompor óxidos de nitrogênio em nitrogênio inofensivo e água, porém, a implementação dessa tecnologia em larga escala impõe desafios operacionais e de custos que reforçam as barreiras estruturais. Embora o Estado estabeleça limites para as emissões, a solução exige uma coordenação entre governos e a economia global. No entanto, barreiras estruturais e uma cultura de dependência de combustíveis fósseis dificultam essa transição.

Diante desse quadro, a inovação tecnológica nos motores tem se mostrado insuficiente de forma isolada. O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2025) destaca que, apesar da redução em alguns poluentes de combustão, houve um aumento nas emissões de material particulado oriundo do desgaste de pneus e pavimentos devido à intensidade de uso da frota. Assim, a mitigação efetiva exige uma transição energética sólida que combine eletrificação veicular e biocombustíveis com uma melhoria drástica na gestão logística e na eficiência da infraestrutura (Alonso *et al.*, 2025). Nesse sentido, revisões globais reforçam que a integração energética, o avanço das tecnologias veiculares e a eletrificação em larga escala configuram as principais promessas para a descarbonização do setor (Wang *et al.*, 2024; Picone *et al.*, 2025).

A otimização da logística rodoviária desempenha um papel crucial, estratégias como a renovação da frota, o uso de combustíveis alternativos, a roteirização inteligente, o monitoramento via telemetria e o rigor na manutenção preventiva são determinantes para a redução direta do consumo de combustível e, conseqüentemente, das emissões de CO₂ (Matos, 2021; Bartholomeu *et al.*, 2016). Para viabilizar essas mudanças, a gestão pública e privada deve fundamentar-se em dados precisos, utilizando modelos matemáticos que se aproximem da realidade operacional para monitorar emissões reais e avaliar a eficácia das políticas adotadas (Dutra, 2018).

Na perspectiva de reverter o cenário das emissões, a inovação e a pesquisa científica são pilares estratégicos, uma vez que contribuem para o desenvolvimento sustentável e a formulação de políticas públicas voltadas ao bem-estar social. A produção de conhecimento de alta qualidade, quando integrada a políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), incentiva o crescimento econômico e a competitividade global ao converter ciência em tecnologias avançadas (Borges, 2016; Vargas *et al.*, 2024).

Países que sustentam investimentos contínuos nessa área alcançam maior inserção internacional e melhor qualidade de vida, transformando o saber em soluções para desafios socioambientais e geração de empregos qualificados (Borges, 2016; Ribeiro & Oliveira, 2024). Desse modo, torna-se relevante analisar como o conhecimento científico relacionado ao transporte rodoviário de cargas e às emissões de GEE tem evoluído ao longo do tempo.

Nesse sentido, a revisão bibliométrica apresenta-se como uma ferramenta capaz de sistematizar a produção científica existente, evidenciando a estrutura intelectual do campo, suas principais tendências e oportunidades de pesquisa, além de contribuir para o direcionamento de futuras investigações e ações voltadas à descarbonização do setor.

A bibliometria se trata de um método quantitativo e sistemático, alicerçado em métricas estatísticas e matemáticas, que permite analisar e avaliar produções científicas em áreas específicas do conhecimento com indicadores precisos. Quando conduzida através de um processo claro e imparcial, essa abordagem garante a execução de análises de qualidade e reprodução, que é característica essencial de estudos sistemáticos. Sua aplicação é fundamental para decifrar e mapear o conhecimento científico, dando sentido a grandes volumes de dados não estruturados de maneira rigorosa. (Donthu *et al.*, 2021).

Ao mapear a comunicação acadêmica, o método de revisão bibliométrica identifica o desenvolvimento de campos específicos e as redes de colaboração ao longo do tempo, permitindo que pesquisadores obtenham uma visão completa da área. Mais do que um levantamento estatístico, a bibliometria bem estruturada constrói bases sólidas para o avanço de um campo ao identificar lacunas de conhecimento, dar origem a ideias inovadoras para investigação e posicionar novas contribuições científicas de forma significativa (Araújo, 2006; Donthu *et al.*, 2021; Sousa *et al.*, 2024).

A relevância dessa abordagem é corroborada pelos resultados alcançados por Mahecha *et al.* (2021), que ao realizar uma análise bibliométrica, identificaram uma lacuna crítica de pesquisa em países emergentes e a necessidade de transitar do foco exclusivo de custos para o conceito de ecoeficiência. Embora o estudo tenha mapeado a logística urbana e a dependência temporal até 2021, a presente pesquisa expande

essa fronteira ao focar especificamente no transporte rodoviário de carga sob a ótica das metas globais de emissões, permitindo identificar como a estrutura intelectual do campo tem reagido aos compromissos climáticos internacionais mais recentes. Ainda, conforme Aria e Cuccurullo (2017), a abordagem é relevante por fornecer evidências sobre a maturidade de soluções, além de identificar lacunas críticas entre a teoria e a prática operacional. Esse mapeamento pode atuar como um instrumento para a gestão de transporte de carga sendo fundamentada em melhores práticas e observação de erros pela comunidade científica.

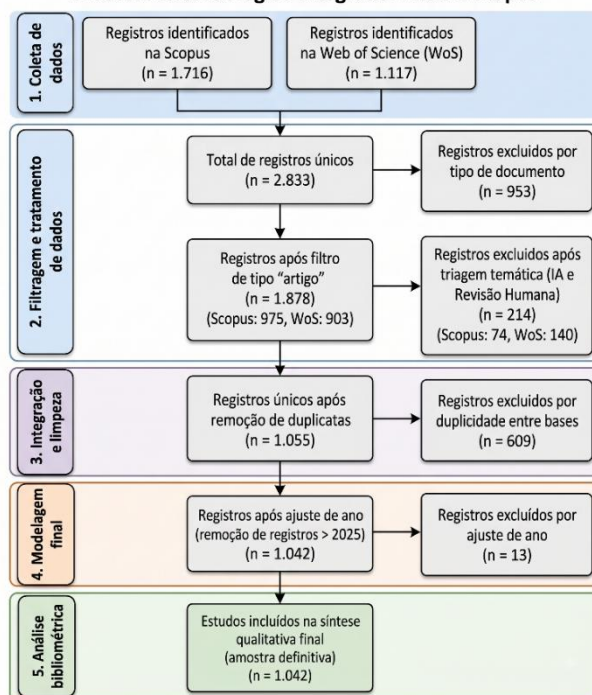
Assim, este estudo tem como objetivo analisar o panorama e evolução da produção científica global sobre as emissões de GEE e outros poluentes na operação de veículos de cargas, utilizando-se da técnica de revisão e análise bibliométrica. Especificamente, esse estudo se propõe a apresentar o Panorama Global e Cooperação Internacional, periódicos científicos consolidados, pesquisadores e instituições com impacto acadêmico e, por fim, o mapeamento temático. Para isso, além desta introdução, o trabalho contempla na seção 2 a descrição dos materiais utilizados, análises bibliométrica consideradas e as etapas metodológicas adotadas. Na seção 3, os resultados alcançados e discussão e, se encerra com as considerações finais na seção 4.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O presente trabalho foi desenvolvido em cinco etapas metodológicas, sendo elas: 1. Coleta de dados, 2. Filtragem e tratamento de dados, 3. Integração e limpeza, 4. Modelagem final e 5. Análise bibliométrica, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 Diagrama Metodológico

Processo Metodológico Integrado: Fluxo e Etapas



Fonte: Criada pelo Autor via OpenAI (2026)

2.1 COLETA DE DADOS: FONTE DE DADOS E ESTRATÉGIA DE BUSCA

O recorte temporal definido para este estudo bibliométrico compreende o período de 1986 a 2025. Os dados foram coletados a partir do acesso ao Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) nas bases multidisciplinares *Scopus* (*Elsevier*) e *Web of Science* (*Clarivate Analytics*). Ambas foram selecionadas por sua relevância e oferecerem acesso a artigos, livros e outras publicações científicas. São bases importantes devido a sua cobertura de revistas científicas de alta qualidade e capacidade de realizar buscas avançadas, filtrando por autor, tema, ano de publicação e entre outros critérios.

A estratégia de busca foi estruturada com o uso de operadores booleanos respeitando o padrão de cada base de dados, que irão funcionar como conectores entre termos e palavras-chave para otimizar os resultados. Optou-se pela utilização de termos em língua inglesa, visto que os periódicos utilizados são indexados em bases internacionais e exigem obrigatoriamente *abstract* e *keywords* no idioma. Na *Scopus* foram utilizadas as *strings* de pesquisa: *("greenhouse gases" OR emission*) AND ("road freight transport*" OR "heavy-duty vehicle*") AND NOT (passenger* OR bus*)* e na *Web of Science*: *("greenhouse gases" OR emission*) AND ("road freight transport*" OR "heavy-duty vehicle*") NOT (passenger* OR bus*)*.

2.2 COLETA DE DADOS: FONTE DE DADOS E ESTRATÉGIA DE BUSCA

O levantamento inicial nas bases de dados retornou um volume bruto de 1.716 trabalhos na *Scopus* e 1.117 na *Web of Science* (WoS). Diante do alinhamento positivo dos resultados preliminares, optou-se por não aplicar filtros refinados internos às plataformas, limitando a busca a dois critérios objetivos de inclusão em ambos os repositórios: Recorte temporal: documentos publicados até o ano de 2025; Tipo de documento: restrito a "artigos" (*articles*). Com a aplicação do filtro por tipo de documento, a amostragem inicial foi reduzida para 975 registros na *Scopus* e 903 na *Web of Science*.

Os títulos, resumos e palavras-chave dos documentos exportados foram submetidos a uma etapa prévia de filtragem assistida pela Inteligência Artificial (IA) Gemini (Google, 2026), de forma supervisionada. A ferramenta foi instruída a identificar e sugerir a exclusão de registros cujo escopo temático fosse alheio ao recorte pretendido, como estudos focados exclusivamente em veículos leves ou de passageiros, transporte ferroviário ou marítimo isolados, saúde pública, epidemiologia e poluição sonora.

Como critério de garantia metodológica e auditoria, as classificações sugeridas pela IA passaram por uma validação humana, sendo revisadas manualmente pelo pesquisador. Durante esse processo, corrigiram-se divergências: documentos que a IA sugeriu excluir, mas que o pesquisador reintegrou por conterem discussões logísticas e energéticas relevantes, bem como textos mantidos incorretamente pela ferramenta que foram removidos de forma manual. Essa triagem qualitativa resultou no descarte de 74 trabalhos da *Scopus* e de 140 da WoS por desalinhamento temático, restando 901 e 763 artigos, respectivamente.

2.3 INTEGRAÇÃO E LIMPEZA DE DADOS

Para a unificação, remoção de duplicatas e limpeza final, os arquivos das duas bases limpas foram exportados em formato BibTeX e importados para o ambiente de programação estatística R. O algoritmo executou a identificação e a remoção de 609 registros duplicados existentes entre os dois repositórios. Utilizou-se o *Digital Object Identifier* (DOI) como identificador principal de controle; para os documentos que não dispunham de DOI, o código realizou uma validação cruzada combinando de forma estrita os campos de autoria, título e ano de publicação, resultando em uma base consolidada de 1.055 artigos aderentes ao escopo da pesquisa. Esta abordagem foi essencial para reduzir o ruído estatístico na amostra, assegurando que os passos subsequentes refletissem com precisão a estrutura intelectual do transporte rodoviário de cargas sob a ótica das emissões de GEE.

2.4 MODELAGEM FINAL: PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Embora os filtros cronológicos nas plataformas tenham sido configurados até o ano de 2025, a base final ainda importou registros indexados do ano de 2026. Esse remanescente foi tratado na etapa de modelagem de dados dentro da interface do *Biblioshiny* (pacote Bibliometrix), resultando em uma amostra definitiva de 1.042 trabalhos para a composição dos indicadores quantitativos deste estudo.

Os procedimentos analíticos e a tabulação final dos dados foram estruturados por meio da interface gráfica Biblioshiny e do Microsoft Excel®. Adicionalmente, utilizou-se a IA (Google, 2026) para otimizar a resolução e o tratamento visual das figuras que apresentavam baixa qualidade de exportação nas ferramentas originais. Desse modo, o estudo foi conduzido considerando as seguintes análises: histórico de publicações e relevância de periódicos, produção científica de acordo com os autores e instituições, cooperação internacional e, mapeamento temático.

Para apoiar as análises, alguns indicadores, métricas e leis foram utilizadas, sendo eles:

- **Total de citações:** Em bibliometria, citação é toda vez que um trabalho científico A, ao ser publicado, menciona formalmente outro trabalho B (artigo, livro, capítulo e etc.) em sua lista de referências ou no texto. A análise de citações mensura a repercussão e o impacto de determinados estudos, autores ou periódicos dentro da comunidade científica (Waltman, 2015; Sancho, 2020).
- **Índice H:** Mede a consistência da produção acadêmica ao cruzar o volume de publicações com seu respectivo impacto, determinando que um pesquisador possui um índice H se tiver pelo menos h artigos com no mínimo h citações cada. Embora seja uma métrica estável e que reflete a regularidade do trabalho científico, sua principal limitação, é a insensibilidade a artigos excepcionalmente bem-sucedidos. Uma vez que um documento atinge o núcleo de Hirsch, o acúmulo de centenas de novas citações a ele não altera o valor do índice, fazendo com que a métrica subestime o impacto real de trabalhos altamente citados na literatura (Ali, 2021).
- **Índice G:** Usado para corrigir a distorção e complementar o índice H, atribuindo maior peso às publicações de topo. Ele é calculado a partir do maior número g de artigos que, somados em ordem decrescente de citações, acumulam juntos pelo menos o quadrado de g citações, permitindo que o desempenho massivo de alguns trabalhos compense o menor impacto de outros. Por ser sempre maior ou igual ao índice H, o índice G se torna uma ferramenta estratégica e discriminatória para diferenciar o alcance científico de pesquisadores com patamares de regularidade idênticos (Ali, 2021).

- **Lei de Bradford:** Descreve um padrão de dispersão da literatura científica em determinada área do conhecimento. Essa lei estabelece que, se os periódicos científicos forem organizados em ordem decrescente de produtividade de artigos sobre um tema, eles podem ser divididos em zonas que contêm aproximadamente o mesmo número de artigos. Enquanto a primeira zona, conhecida como núcleo, é composta por um número reduzido de periódicos altamente especializados e de grande relevância para a área, as zonas subsequentes contêm um número progressivamente maior de periódicos com menor densidade de publicação sobre o assunto (Nash-Stewart *et al.*, 2012).
- **A lei de Lotka:** Conhecida como a lei do quadrado inverso, ela estabelece que existe uma relação matemática fixa entre o número de autores e o número de artigos publicados em um determinado campo do conhecimento. Segundo essa teoria, a quantidade de cientistas que publicam um número específico de artigos é inversamente proporcional a esse número elevado ao quadrado, o que significa que cerca de 60% da produção científica de qualquer área é realizada por autores que escreveram apenas um único trabalho (Kawamura *et al.*, 2000).

2.5 ESTRUTURA DE ANÁLISE

Hassan e Duarte (2024) recomendam que a apresentação dos resultados em análises bibliométricas contemple aspectos como tendências de publicação, autoria e colaboração, citações, palavras-chave, distribuição geográfica e institucional, periódicos, impacto científico e visualização. Para os autores, a bibliometria deve superar descrições meramente quantitativas e incorporar indicadores de produtividade e influência. Assim, os resultados foram organizados em blocos adaptados à proposta metodológica e às regularidades identificadas no material analisado, sendo que os trabalhos selecionados para a bibliometria desse estudo foram estruturados em quatros eixos para atingir o objetivo central. Foi utilizado a IA (Google, 2026) para a orientação sobre os procedimentos de análise e revisão dos resultados encontrados.

I. Panorama Global e Cooperação Internacional: Mapeamento do crescimento histórico do tema por meio do volume de produção científica anual, identificação geográfica dos países líderes na temática e avaliação das redes de cooperação internacional e fluxos de coautoria global. O propósito central deste eixo é contextualizar historicamente o crescimento no volume de publicações ao longo das últimas décadas, além de quantificar o impacto acadêmico e a produtividade das nações que lideram as investigações na área.

II. Análise de Fontes: Identificação dos periódicos científicos e revistas mais influentes no setor, análise de afiliações institucionais de destaque e aplicação da Lei de Bradford para determinar o núcleo de periódicos especializados.

III. Pesquisadores e Impacto Acadêmico: Identificação das mentes científicas mais influentes na área, mapeamento do seu histórico e consistência de publicações ao longo do tempo e mensuração do seu impacto individual por meio dos Índices H, G e da validação estatística da Lei de Lotka.

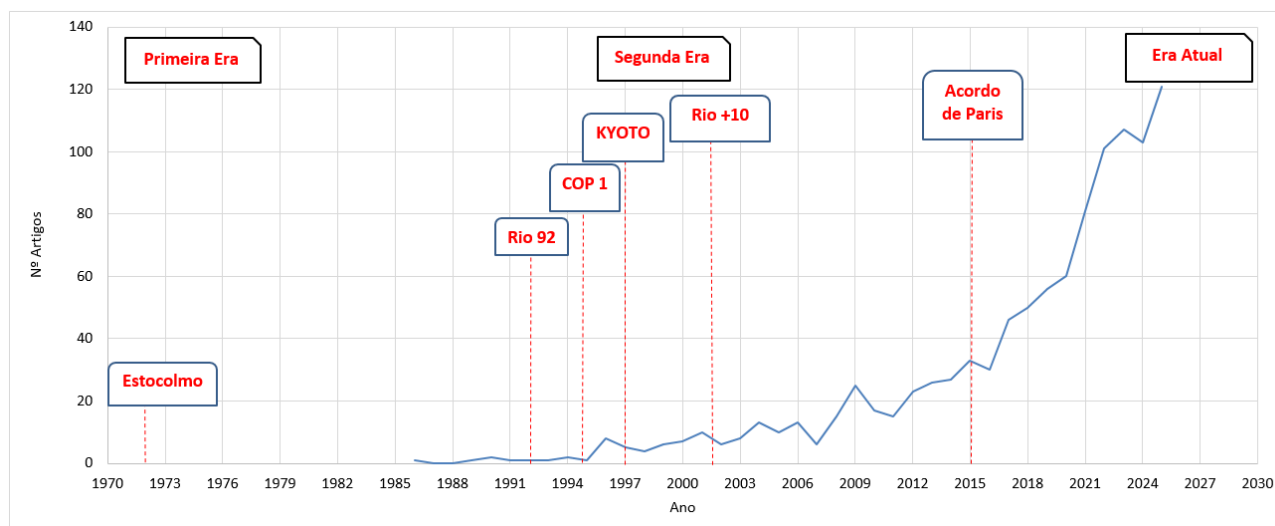
IV. Mapeamento Temático e Tendências Conceituais: Por meio do processamento das palavras-chave extraídas dos documentos, avalia a frequência dos termos e analisa a evolução cronológica dessas abordagens ao longo dos anos, permitindo identificar quais temas perderam recorrência temporal e quais se consolidaram como as tendências de pesquisa mais recentes e em alta no cenário científico. Assim, são considerados: frequência de termos, proximidade das palavras-chave para delimitar as frentes de pesquisa atuais, permitindo o cruzamento de termos em alta, com a linha do tempo de evolução dessas tendências ao longo dos anos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PANORAMA GLOBAL

A evolução da produção científica sobre emissões de GEE no transporte rodoviário de cargas teve início em 1986 e apresentou um crescimento anual de 13% até 2025 (Figura 2), com um comportamento exponencial observado nos últimos sete anos. Ao se observar o incremento na curva de crescimento, é possível relacionar a trajetória das publicações à luz de três grandes eras da discussão climática internacional.

Figura 2 Produção Científica Anual



Fonte: Autor (2026).

A primeira era, compreendida entre a década de 1970 e o início dos anos 1990, corresponde ao período de despertar da consciência ambiental global. Esse período foi impulsionado pela Conferência de Estocolmo de 1972, considerada um marco para a incorporação das questões ambientais na agenda internacional, enfatizando a necessidade de assegurar qualidade de vida às populações e preservar os recursos naturais para as futuras gerações (Kulaeva, 2024). Assim, conforme observado na Figura 2, a temática das emissões associadas ao transporte de carga não constituía um campo consolidado de pesquisa, de modo que a primeira publicação ocorreu cinco anos após a conferência.

Na segunda era, situada entre o início dos anos 1990 e início da década de 2010, caracteriza-se pela consolidação dos regimes climáticos multilaterais. A Conferência Rio-92 estabeleceu o meio ambiente como um dos pilares do desenvolvimento sustentável, juntamente com as dimensões econômica e social, além de instituir a Agenda 21 como instrumento orientador para o século XXI. Posteriormente, eventos como a COP1 em Berlim (1995), o Protocolo de Kyoto (1997) e a Rio+10 (2002) contribuíram para fortalecer mecanismos de monitoramento e redução das emissões de GEE (Pessini e Sganzerla, 2016). O número anual de publicações começa a aumentar gradativamente (Figura 2), indicando o amadurecimento da temática, e então observando o que seria o início da terceira era.

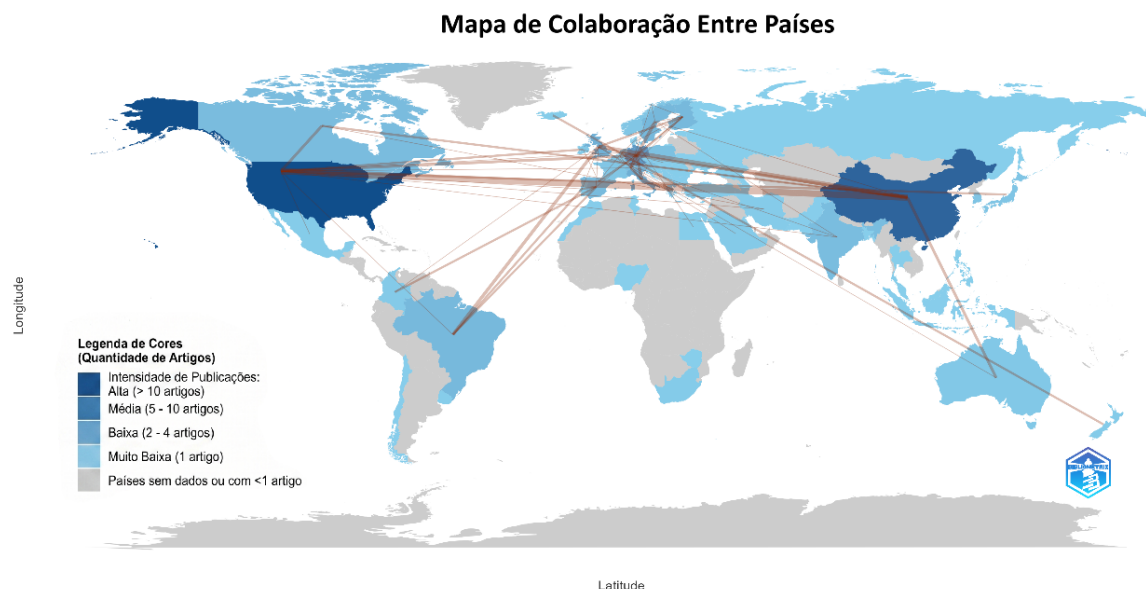
A terceira era ocorreu após o ano de 2010 e se intensificou após o Acordo de Paris e a promulgação da Agenda 2030 da ONU, ambos em 2015, que promoveram uma mudança estrutural na governança climática internacional ao adotar um modelo universal baseado em Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e ao estabelecer os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). No contexto dos transportes, destaca-se o papel dos ODS 7 (energia limpa), 11 (mobilidade urbana sustentável) e 13 (ação climática), que ampliando a participação de atores não estatais e incorporando temas relacionados à implementação, financiamento, capacitação e justiça climática (Christoff, 2016; Galán-Ladero et al. 2023). Essa transformação é claramente observada na curva de produção científica (Figura 2), que apresenta crescimento acelerado a partir de 2015 e, sobretudo, após 2020.

O aumento do número de publicações sugere que a agenda de descarbonização dos transportes passou a ocupar posição central nas discussões acadêmicas e institucionais. Entre 2020 e 2025, o número anual de artigos cresce, o que, segundo Mulholland et al. (2018), reflete a crescente preocupação com metas de neutralidade de carbono, eletrificação de frotas, combustíveis alternativos, logística sustentável e avaliação de políticas públicas de mitigação.

A produtividade e o impacto das publicações são sustentados pela configuração geográfica da Rede Global de Colaboração entre Países. O mapeamento apresentado na Figura 3 evidencia que o eixo de cooperação mais denso da literatura se concentra

no hemisfério norte, caracterizado por conexões que interligam diretamente os Estados Unidos, a China e a Europa; e, em forma reduzida, o hemisfério sul, como é o caso do Brasil.

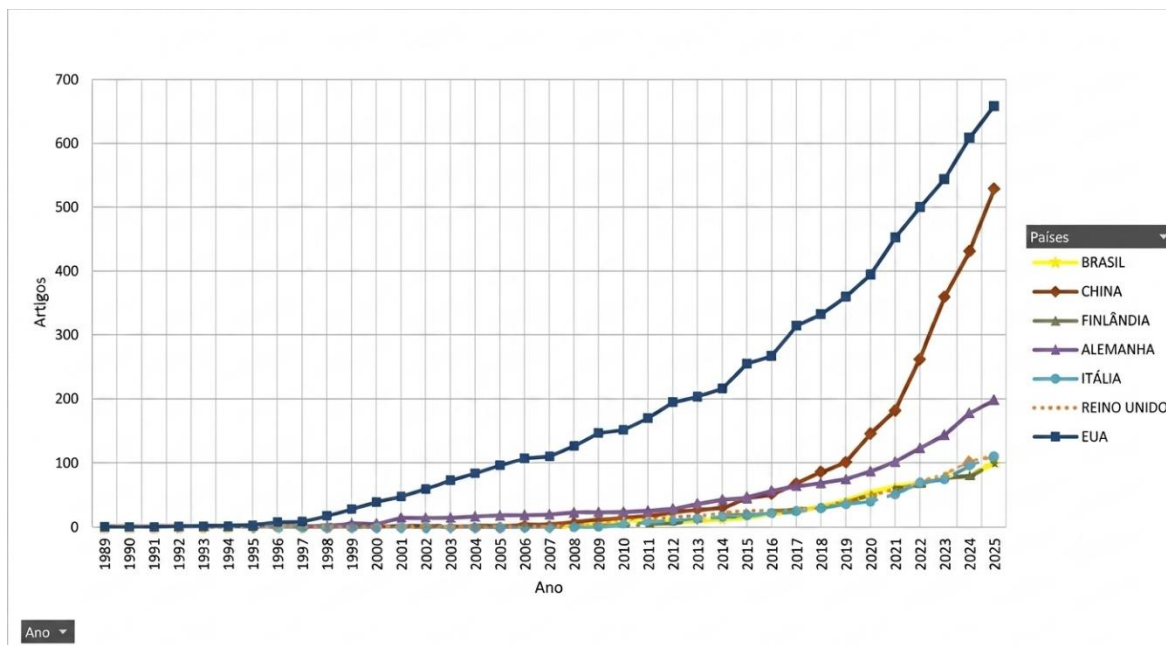
Figura 3 Mapa de Colaboração Entre Países



Fonte: Elaborado pelo Biblioshiny (2026)

A análise da produtividade científica evidencia os Estados Unidos (EUA) como o principal polo de geração de conhecimento na área. O país apresenta uma trajetória de crescimento contínuo desde o final da década de 1990, alcançando um volume acumulado superior a 650 artigos em 2025 (Figura 4). A China configura-se como a segunda maior força científica do campo, destacando-se por uma expansão mais tardia, porém extremamente acelerada, iniciada por volta de 2019. Esse crescimento permitiu ao país ultrapassar as demais nações e atingir um acumulado superior a 500 publicações ao final do período analisado. Já o Brasil apresentou uma evolução semelhante à observada em diversos países europeus até 2019, com um descolamento mais evidente a partir de 2020.

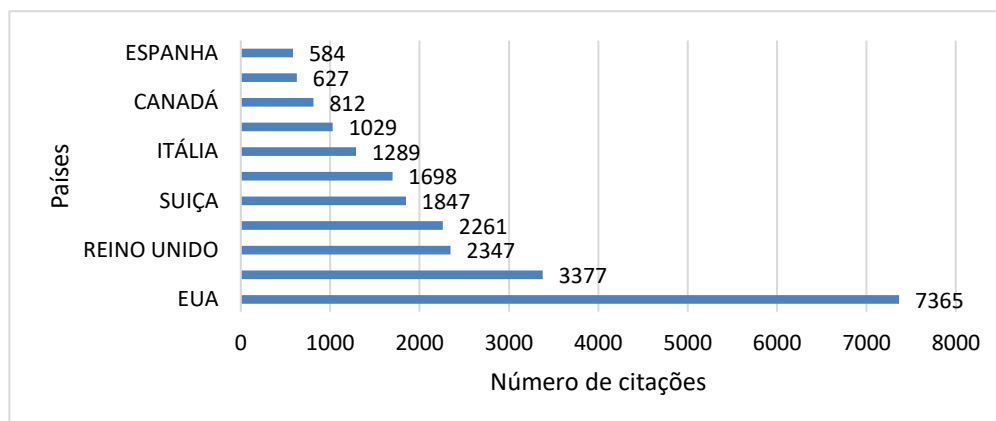
Figura 4 Produção dos Países ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelo Autor (2026).

A análise do impacto científico por nações, fundamentada na filiação institucional dos pesquisadores, quantifica a produtividade e o impacto acadêmico acumulado pelas diferentes comunidades científicas, demonstrando quais países possuem a produção mais influente e mais citadas como referência teórica no campo de estudo do transporte rodoviário de cargas e emissões. Em termos de relevância científica, medida pelo número de citações recebidas, os Estados Unidos consolidam sua posição de liderança ao acumular 7.365 citações, valor superior ao dos demais países analisados (Figura 5). A China ocupa a segunda colocação, com 3.377 citações, evidenciando a crescente influência de sua produção científica no cenário internacional, mas com um número de citações quase 50% inferior ao dos Estados Unidos.

Figura 5 Número de Citações por País



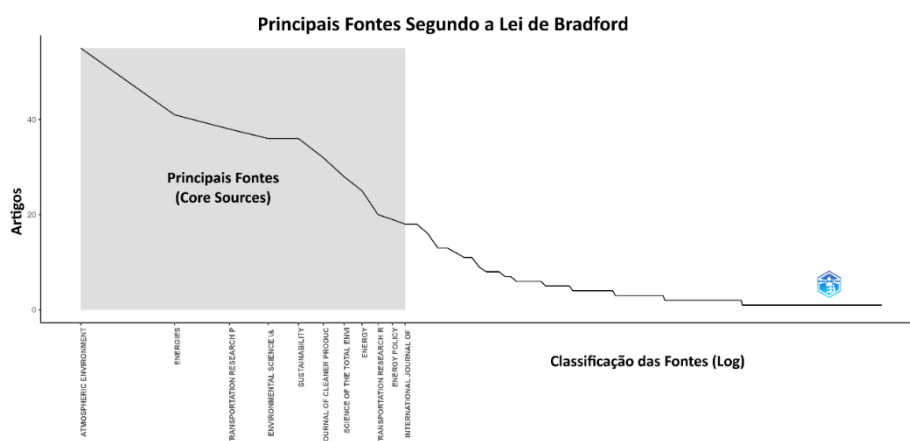
Fonte: Elaborado pelo Autor (2026).

O Brasil também participa nesse panorama global, registrando 627 citações acumuladas e posicionando-se na penúltima colocação entre os países considerados. Esses resultados demonstram que, além de liderarem em volume de produção, Estados Unidos e China concentram parcela expressiva do impacto científico associado às pesquisas sobre o tema.

3.2 ANÁLISE PERIÓDICA

A investigação do comportamento das fontes de publicação viabiliza a compreensão de como a literatura se distribui entre os diferentes periódicos, mapeando desde aqueles que desempenham um papel central e de alto impacto até as revistas mais recentes e com potencial de impacto. Na Figura 6, observa-se que o núcleo de periódicos especializados e mais relevantes é composto por 11 periódicos, evidenciando a concentração da produção científica sobre emissões no transporte rodoviário de cargas em um núcleo restrito de periódicos especializados nas áreas de meio ambiente, energia e transporte.

Figura 6 Lei de Bradford



Fonte: Elaborado pelo Biblioshiny (2026).

Conforme detalhado na Tabela 1, o periódico *Atmospheric Environment* destaca-se como a principal fonte de publicação da temática, liderando simultaneamente todos os indicadores bibliométricos analisados, com 55 artigos publicados, Índice H de 39, Índice G de 55 e 4.975 citações acumuladas desde 1989. A comparação entre os índices H e G demonstra que esse periódico não mantém apenas uma produção consistente, mas também concentra artigos de elevada repercussão científica, evidenciando sua relevância para a consolidação do campo de pesquisa.

Tabela 1 Fontes Mais Relevantes

Fontes	Índice H	Índice G	TC	NP	IP
Atmospheric Environment	39	55	4975	55	1989
Environmental Science & Technology	23	36	1904	36	2001
Journal Of Cleaner Production	21	32	1368	32	2014
Transportation Research Part D-Transport And Environment	21	37	1441	38	2004
Science Of The Total Environment	18	28	1097	28	1993
Energy Policy	16	19	919	19	2009
Energies	15	22	571	41	2020
Energy	14	25	854	25	2008
Sustainability	14	20	490	36	2015
Applied Energy	12	13	1000	13	2001
International Journal Of Hydrogen Energy	11	18	539	18	1999
Fuel	10	16	402	16	2019
Energy Conversion And Management	8	11	254	11	2009
Journal Of The Air & Waste Management Association	8	12	208	12	1998
Sae International Journal Of Engines	8	11	191	11	2009

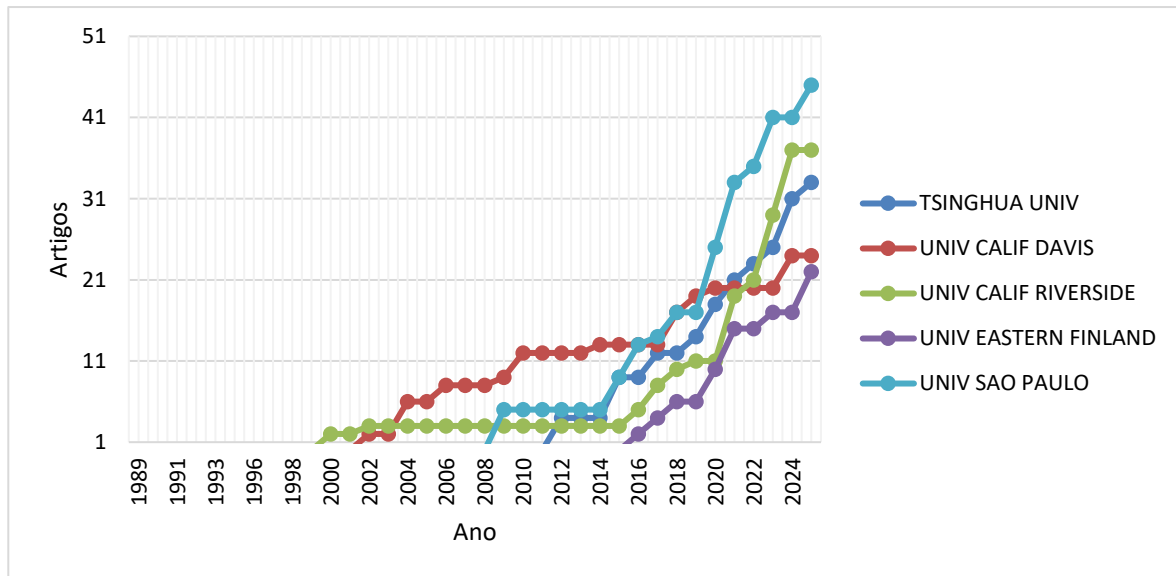
Nota* TC = total de citações, NP = número de publicações, IP = ano inicial das publicações.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2026).

Embora apresente o segundo maior volume de publicações da amostra, com 41 artigos, o periódico *Energies* registra indicadores de impacto inferiores aos dos periódicos líderes, resultado compatível com sua inserção mais recente no campo, iniciada em 2020. Destaca-se ainda o periódico *Applied Energy*, que alcança 1.000 citações distribuídas em apenas 13 publicações, sugerindo elevada influência média de seus artigos. De forma geral, os resultados indicam que a estrutura intelectual da área está fortemente apoiada em periódicos de caráter interdisciplinar, que articulam discussões sobre transporte, energia, qualidade ambiental e sustentabilidade.

O mapeamento da produção das afiliações ao longo do tempo demonstra que o número de artigos publicados pelas instituições selecionadas permaneceu zerado no período compreendido entre 1989 e 1999 (Figura 7). No ano de 2000, a *University of California* (EUA), *Riverside* e a *University of California Davis* (EUA) registraram seus primeiros documentos, mantendo suas produções acumuladas abaixo de 5 artigos até 2003. A partir de 2004, a *University of California Davis* apresentou um aumento na frequência de publicações na área, antecedendo o período entre 2010 e 2014, no qual a *Tsinghua University* (China) registrou suas primeiras produções.

Figura 7 Produção das Afiliações ao Longo do Tempo



Fonte: Elaborado pelo Autor (2026).

A Universidade de São Paulo (USP) registrou suas primeiras publicações por volta dos anos de 2008 a 2009, mantendo-se estável com artigos acumulados até o ano de 2014. A partir de 2015, a USP apresentou um crescimento contínuo no volume de documentos, ultrapassando as demais instituições internacionais em 2017 e atingindo o maior número de trabalhos do grupo, com 45 artigos até o ano de 2025, o que a posiciona, de acordo com a Figura 7, como a afiliação mais relevante do panorama analisado.

De modo geral, a análise do desempenho das instituições por país de origem revela que os Estados Unidos lideram tanto em número de artigos publicados quanto em citações, seguidos pela China (Figuras 2 e 3). Ao analisar a produtividade por instituição, destacam-se a USP e University of Eastern Finland. Embora, o Brasil e a Finlândia não figurem no topo do ranking de produtividade por país, suas universidades emergiram individualmente como polos internacionais importantes.

O protagonismo e a inversão de liderança da USP frente às instituições norte-americanas e chinesas, intensificada a partir de 2020, encontra justificativa tanto na realidade logística brasileira quanto no papel estratégico da universidade. No Brasil, a matriz de transporte de carga é predominantemente rodoviária, ocorrendo uma histórica prevalência do uso de veículos rodoviários sobre ferrovias na movimentação de carga geral. Essa configuração se mantém porque a oferta ferroviária nacional mostra-se pouco competitiva em termos de custos logísticos e de cobertura territorial, conforme apontado por Gonçalves *et al.* (2014). Sendo o transporte rodoviário o principal modo de mobilidade e, por consequência, o maior emissor de poluentes e

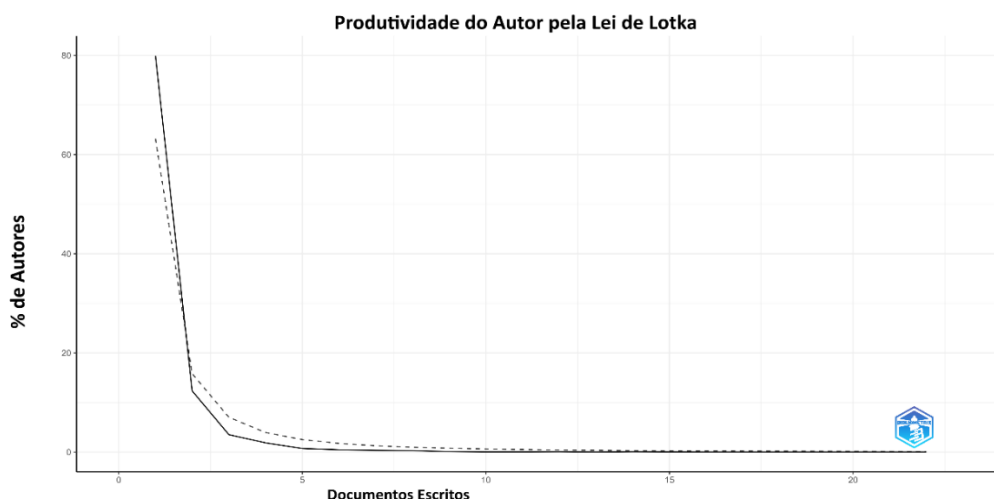
GEE no país, a pressão técnica e social por soluções mitigadoras se concentrou nele. Ainda segundo Oliveira *et al.* (2024), a universidade mantém uma produção científica sobre mudanças climáticas na América Latina robusta e crescente em periódicos de alto impacto desde 2010, o que também contribui para explicar sua posição de destaque nas pesquisas sobre emissões do transporte rodoviário de cargas, considerando a agenda ambiental.

Paralelamente, o destaque obtido pela *University of Eastern Finland*, com 22 produções, responde a um modelo estrutural de governança ambiental altamente integrado. Na Finlândia, o sistema de ensino superior opera sob agendas nacionais unificadas e conselhos coordenadores que buscam cumprir a meta estatal de neutralidade de carbono até 2030 (Ahonen *et al.*, 2024). Embora existam assimetrias de recursos entre as instituições, a maioria das universidades finlandesas está ativamente engajada no monitoramento rigoroso de suas pegadas de carbono institucionais. Nesse escopo, as emissões atreladas aos transportes representam categorias desafiadoras, dada a extensão geográfica e as condições climáticas do país. Assim, impulsionadas por compromissos ecológicos radicais e por sua escala de atuação, as universidades finlandesas ocupam uma posição globalmente de suma importância, convertendo-se em referências internacionais de visibilidade para o estudo de eficiência energética e mitigação de emissões.

3.3 PESQUISADORES E INFLUÊNCIA CIENTÍFICA

A análise do impacto científico individual e da dinâmica de publicações permite identificar os pesquisadores cuja produção científica sustenta o desenvolvimento da área de estudo. A Figura 8 indica que aproximadamente 80% dos autores contribuíram com apenas 1 documento escrito dentro do portfólio analisado. À medida que o volume de documentos por autor aumenta no eixo horizontal, a porcentagem de pesquisadores decai, evidenciando que uma parcela restrita de autores concentra índices elevados de produção (atingindo marcas próximas ou acima de 20 documentos escritos).

Figura 8 Lei de Lotka



Fonte: Elaborado pelo Biblioshiny. (2026).

Essa distribuição de produtividade é detalhada na Tabela 2, que elenca os autores mais relevantes da amostra com base em seus índices de impacto. O pesquisador Wang J lidera os indicadores de volume e impacto cumulativo, registrando o maior Índice H (14), o maior Índice G (22) e o maior número de publicações (22), acumulando 710 citações totais desde o seu ano inicial de publicação em 2011. Na sequência, Durbin T apresenta o segundo maior Índice H (12) distribuído em 16 publicações, somando 419 citações totais desde 2013. O autor Liimatainen H, com início em 2011, acumula 576 citações em 12 publicações, detendo um Índice H de 10. Embora os pesquisadores Sioutas C (em 2005) e Zhang Y (em 2008) registrem números de publicações menores (8 e 14, respectivamente), eles apresentam expressivo volume de citações totais, com 655 e 540 citações acumuladas.

Tabela 1 Autores Mais Relevantes

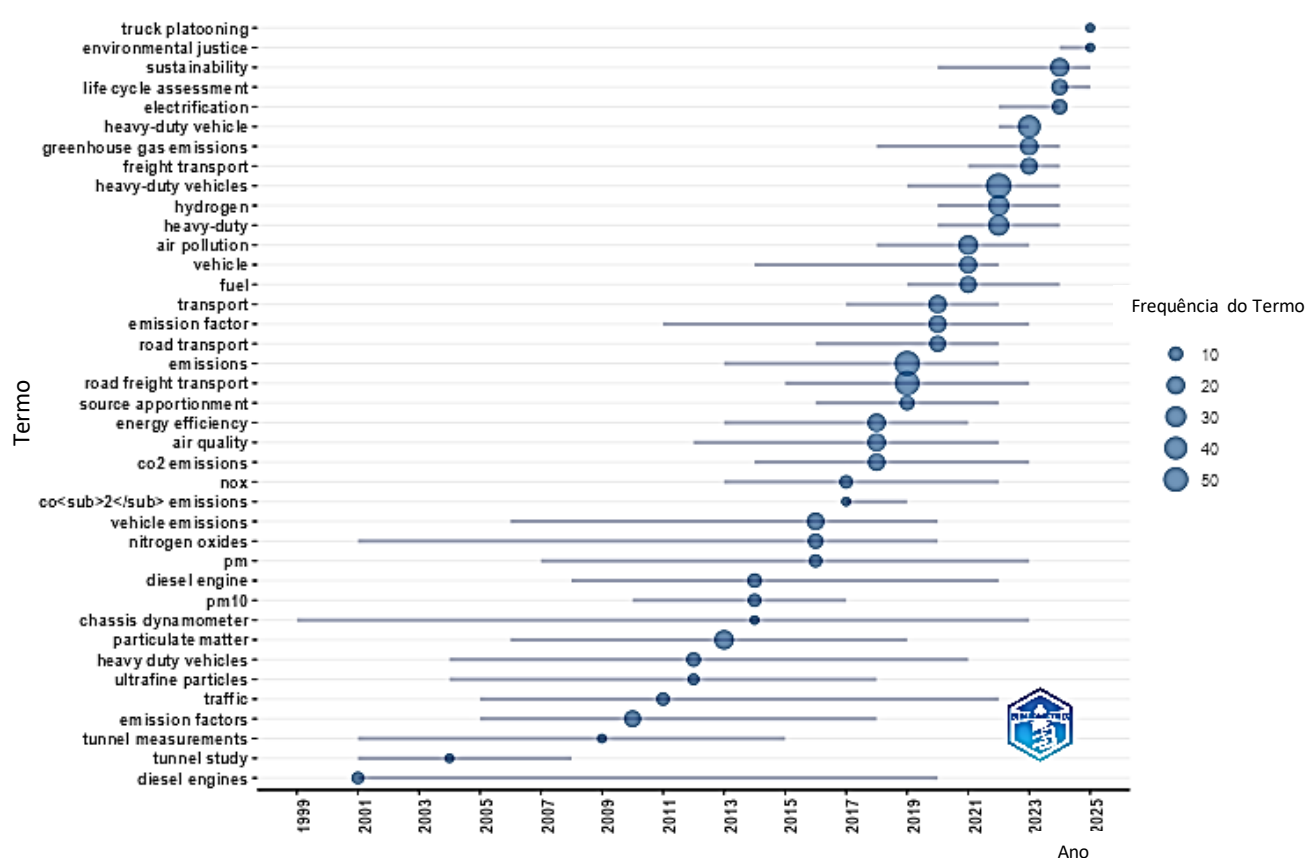
Autores	Índice H	Índice G	TC	NP	IP
WANG J	14	22	710	22	2011
DURBIN T	12	16	419	16	2013
LIIMATAINEN H	10	12	576	12	2011
GIECHASKIEL B	9	14	293	14	2010
LIU Y	9	13	291	13	2012
WANG X	9	14	358	14	2009
ZHANG Y	9	14	540	14	2008
JOHNSON K	8	12	286	12	2013
KARAVALAKIS G	8	10	260	10	2013
SIOUTAS C	8	8	655	8	2005
SPETH D	8	9	299	9	2021
ANDRADE M	7	7	331	7	2006
FONTARAS G	7	8	191	8	2012
JIANG Y	7	9	212	9	2016
LI Y	7	8	260	8	2009
LIU H	7	8	261	8	2015
SCHAUER J	7	7	580	7	2006
WANG Y	7	11	137	11	2014

Nota* TC = total de citações, NP = número de publicações, IP = ano inicial das publicações.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2026).

chassis dynamometer demonstram que o interesse científico estava voltado para o monitoramento direto no escapamento dos veículos, testes laboratoriais de motores em bancada e estudos em túneis para mensurar o impacto imediato das emissões veiculares tradicionais. A preocupação central dessa época baseava-se em caracterizar o perfil de degradação da qualidade do ar por meio de poluentes específicos de impacto urbano e na formulação de fatores de emissão basais para frotas comerciais. Após esse período, observa-se um deslocamento das discussões em direção a aspectos regulatórios, impactos atmosféricos abrangentes e tipologias de poluentes finos.

Figura 10 Tópicos em Alta



Fonte: Elaborado pelo Biblioshiny. (2026).

Entre 2016 e 2021, termos que já possuíam registros históricos, como *nitrogen oxides* e *pm* (material particulado), alcançam maior concentração de frequência, coincidindo com o aparecimento e a consolidação de tópicos como *CO₂ emissions*, *air quality* e *road freight transport*. Esse cenário indica que a literatura passou a correlacionar os ensaios experimentais de engenharia diretamente com políticas públicas de controle ambiental e metas de mitigação de GEE, deslocando o foco das emissões diretas na fonte veicular para os impactos integrados na bacia atmosférica global.

Atualmente, o cenário de pesquisa refletido no intervalo recente (2022 a 2025) aponta para uma consolidação focada na descarbonização, eficiência operacional e modernização energética do transporte rodoviário de carga. A forte centralização cronológica de tópicos como *heavy duty vehicles*, *greenhouse gas emissions*, *freight transport*, *electrification*, *sustainability* e *truck platooning* evidencia que a vanguarda científica da área não discute mais apenas o monitoramento do motor a combustão tradicional. O foco atual está direcionado para soluções estruturais de mitigação, englobando a transição energética por meio da eletrificação de frotas pesadas, conceitos macro de sustentabilidade logística e tecnologias de automação e conectividade de comboios de caminhões (*platooning*) para otimização do consumo energético em rodovias.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo permitiu cumprir o objetivo de mapear a estrutura intelectual e a evolução científica das pesquisas globais sobre o cenário dos estudos sobre emissões no transporte rodoviário de cargas. Os resultados analisados demonstram que a produção acadêmica na área apresenta uma taxa de crescimento anual média de 13% desde o início do período mapeado. Esse avanço histórico exhibe um crescimento expressivo a partir de 2015 e uma aceleração maior a partir de 2020, atingindo o seu ápice em 2023.

Verificou-se que o núcleo de alto impacto e produtividade desse conhecimento está concentrado em periódicos tradicionais de ciências ambientais e engenharia. O periódico *Atmospheric Environment* estabeleceu-se como a principal referência no aspecto de emissões do transporte rodoviário de cargas, liderando tanto em volume de publicações quanto em número cumulativo de citações, embora o cenário atual venha sendo ampliado pela participação de revistas como *Energies* e *Sustainability*. No âmbito autoral, pesquisadores como Wang J e Durbin T consolidaram-se como as principais referências científicas na área, liderando a estrutura de produção sobre emissões veiculares de carga.

No panorama das parcerias globais, os Estados Unidos exercem papel de centralidade na conectividade da rede, figurando como um dos países com maior volume de produção de artigos e número de citações acumuladas. O Brasil se integra a esse cenário internacional de maneira ativa, ocupando posição de destaque em citações e sendo impulsionado pela Universidade de São Paulo. A instituição apresentou uma trajetória de crescimento contínuo em sua produção científica após o ano de 2008, o que permitiu que ela alcançasse o patamar de uma das afiliações com maior número de trabalhos ativos atualmente no cenário global.

No aspecto conceitual, a evolução histórica das palavras-chave revelou uma

mudança de escala metodológica e tecnológica nas últimas duas décadas. No período de 1999 a 2015, a comunidade científica concentrava-se no monitoramento físico direto, focado em ensaios de motores a diesel, medições em túneis. Entre 2016 e 2021, o foco deslocou-se para a correlação desses ensaios com políticas públicas, com ênfase no controle de óxidos de nitrogênio, material particulado e emissões de dióxido de carbono. No intervalo recente de 2022 a 2025, o cenário consolidou-se em soluções estruturais, priorizando a descarbonização, a sustentabilidade logística, a eletrificação de frotas pesadas e tecnologias de automação de comboios de caminhões para a otimização energética.

A análise do mapeamento revela que a literatura da área se encontra em um momento de transição. O volume de pesquisas sobre os impactos do diesel e material particulado reflete a maturidade dessa temática. Contudo, verifica-se um avanço recente nas investigações sobre eletrificação e sustentabilidade. Essa configuração demonstra que a produção científica acompanha a velocidade das novas tecnologias, consolidando a base teórica necessária para viabilizar a mudança da matriz energética na prática operacional.

Diante dessa realidade, torna-se útil que os trabalhos futuros busquem aproximar esses campos, concentrando esforços na avaliação sobre a viabilidade técnica, operacional e econômica da transição definitiva para frotas de transporte de carga com emissão zero. Além disso, aponta-se como uma necessidade emergente para pesquisas futuras a investigação aprofundada sobre os efeitos diretos da exposição a poluentes finos e material particulado na saúde humana, integrando a engenharia de transportes e a epidemiologia ambiental para mensurar os impactos médicos decorrentes da atividade logística em corredores rodoviários.

Agradecimentos.

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e a Universidade Federal de Goiás - UFG pelo suporte técnico e operacional concedido. O primeiro autor agradece o suporte financeiro recebido para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABBOUD, K.; MÉSZÁROS, F. Carbon Footprint Analysis of the Freight Transport Sector Using a Multi-Region Input–Output Model (MRIO) from 2000 to 2014: **Evidence from Industrial Countries**. Sustainability, [s.l.], v. 15, n. 10, art. 7787, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15107787>. Acesso em: 14 abr. 2026.

ABRAMO, G.; D'ANGELO, C.; VIEL, F. Avaliando a precisão dos índices h e g para medir a produtividade dos pesquisadores. **J. Assoc. Inf. Sci. Technol.**, [s.l.], v. 64, p. 1224-1234, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/asi.22828>. Acesso em: 28 mai. 2026.

AHONEN,VL; WOSZCZEK,A; BAUMEISTER,S ; HELIMO,UT ; JACKSON,AK ; KO

PSAKANGAS-

SAVOLAINEN, M.; KÄÄRIÄ, J.; LEHTONEN, T.; LUORANEN, M.; PONGRÁCZ, E.; SOUKKA, R.; VAINIO, V.; GENEIDY, S. (2024), "Instituições de ensino superior neutras em carbono: uma verificação da realidade, desafios e soluções". **Revista Internacional de Sustentabilidade no Ensino Superior**, Vol. 25 Nº 9 pp. 293–315, doi: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-11-2023-0515>. Acesso em: 11 mai. 2026.

ALENCAR JR, A. A. M. de; DELESPOSTE, J. E. Análise das mudanças climáticas no mundo e no Brasil considerando cenários de baixa e alta emissão de GEE por fontes antropogênicas. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (SIMPEP), 27., 2020, Bauru. **Anais**. Bauru: FEB/UNESP, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Jamile-Delesposte/publication/347712747>. Acesso em: 18 abr. 2026.

ALI, M. Understanding the 'g-index' and the 'e-index'. **Seminars in Ophthalmology**, [s.l.], v. 36, p. 139-139, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/08820538.2021.1922975>. Acesso em: 30 abr. 2026.

ALONSO, R. H.; Castellano, F. U.; Tsai, D. Graces, I.; Ramos, D. S. Energy transition and decarbonization of road transportation: A case study of São Paulo's Race to Zero by 2050, Brazil. **Case Studies on Transport Policy**, [s.l.], v. 19, art. 101365, mar. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101365>. Acesso em: 05 mai. 2026.

ARAÚJO, C. A. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/EmQuestao/article/view/16>. Acesso em: 22 abr. 2026.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>. Acesso em: 19 mai. 2026.

BARTHOLOMEU, D.; PÉRA, T.; CAIXETA-Filho, J. Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO₂ no transporte rodoviário de cargas. **Journal of Transport Literature**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 15-19, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v10n3a3>. Acesso em: 12 mai. 2026.

BORGES, M. CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DO BRASIL. **Scientia Plena**, [s.l.], v. 12, n. 8, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2016.089901>. Acesso em: 03 mai. 2026.

CHRISTOFF, P. A nota promissória: COP 21 e o Acordo Climático de Paris. **Environmental Politics**, [s.l.], v. 25, n. 5, p. 765–787, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09644016.2016.1191818>. Acesso em: 25 abr. 2026.

CHUEKE, G.; AMATUCCI, M.. Métodos de sistematização de literature em estudos científicos: bibliometria, meta-análise e revisão sistemática. **Internext**, [s.l.], v. 17, n. 2, p. 284-292, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18568/internext.v17i2.704>. Acesso em: 17 mai. 2026.

DONTHU, N.; KUMAR, S.; MUKHERJEE, D.; PANDEY, N.; LIM, W. M.. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, [s.l.], v. 133, p. 285-296, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>. Acesso em: 08 abr. 2026.

DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E.; FERNANDES G. D. ;CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S.; KEMERICH, P. D. C. Air Pollution from the Burning of Fuels Derived from Petroleum

in Motor Vehicles. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 66-78, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236117010537>. Acesso em: 14 mai. 2026.

DUTRA, J. M. **Emissões de poluentes atmosféricos do sistema de transportes: inventários e predições**. 2018. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

FRY, J.; KANEMOTO, K.; FRASER, A.; NANSAL, K. Global Freight Transport Emissions Responsibility. **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v. 58, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c05658>. Acesso em: 29 abr. 2026.

GALÁN-LADERO, M.; SARMENTO, M.; MARQUES, S. Social Marketing to achieve the Sustainable Development Goals (SDGs) in 2030 Agenda by the United Nations. **International Review on Public and Nonprofit Marketing**, [s.l.], v. 20, p. 521-527, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12208-023-00381-7>. Acesso em: 06 mai. 2026.

GONÇALVES, B. S.; D'AGOSTO, M, A.; JR, I, C, L.; SILVA, F, G, F. Evaluating the modal split of overland transportation of general cargo in Brazil using a market share model. **Journal of Transport Literature**, [s.l.], v. 8, p. 60-81, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v8n4a3>. Acesso em: 26 abr. 2026.

GOOGLE. Gemini. Versão 1.5 Pro. Resposta gerada por inteligência artificial. [S.l.]: Google LLC, 2026. Disponível em: <https://gemini.google.com>. Acesso em: 14 jun. 2026.

HABIB, Y.; XIA, E.; HASHMI, S, H.; AHMED, Z. The nexus between road transport intensity and road-related CO2 emissions in G20 countries: an advanced panel estimation. **Environmental Science and Pollution Research**, [s.l.], v. 28, p. 58405-58425, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14731-7>. Acesso em: 20 mai. 2026.

HASSAN, W.; DUARTE, A, E. (2024). Bibliometric Analysis: A Few Suggestions. Current problems in cardiology, pp. 102640 . doi: 10.1016/j.cpcardiol.2024.102640.

HUERTAS, D. M. Gênese e expansão dos agentes do transporte rodoviário de carga no Brasil. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 34, n. 1, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-3533.2025v34n1.260181>. Acesso em: 02 mai. 2026.

INKINEN, T.; HÄMÄLÄINEN, E. Reviewing Truck Logistics: Solutions for Achieving Low Emission Road Freight Transport. **Sustainability**, [s.l.], v. 12, n. 17, art. 6714, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12176714>. Acesso em: 15 abr. 2026.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários: ano-base 2024**. São Paulo: IEMA, 2025. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/brasil-atualiza-inventario-de-emissoes-do-transporte-rodoviario-no-pais-20251202>. Acesso em: 24 abr. 2026.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Climate Change 2023: **Synthesis Report**. [S.l.]: 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf. Acesso em: 10 mai. 2026.

KAWAMURA, M.; THOMAS, C, D.; TSURUMOTO, A.; SASAHARA, H.; KAWAGUCHI, Y. Lei de Lotka e índice de produtividade de autores em um periódico científico. **Journal of Oral Science**, [s.l.], v. 42, n. 2, p. 75-78, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2334/josnurd.42.75>. Acesso em: 07 abr. 2026.

KOEBEL, M.; ELSENER, M.; KLEEMANN, M. Urea-SCR: a promising technique to reduce NOx emissions from automotive diesel engines. **Catalysis Today**, [s.l.], v. 59, n. 3-4, p. 335-345, 2000.

KULAEVA, Z. Narrativas de mudança: como as narrativas sobre mudanças climáticas evoluíram desde a década de 1970. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, [s.l.], 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/ijccsm-06-2024-0089>. Acesso em: 13 mai. 2026.

LV, Q.; LIU, H.; YANG, D.; LIU, H. **Effects of urbanization on freight transport carbon emissions in China: Common characteristics and regional disparity**. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 211, p. 371-379, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.182>. Acesso em: 16 abr. 2026.

MAHECHA, J.; ROJAS MILLAN, R.; CABELLO ERAS, J. J. Ecoeficiência no transporte urbano de cargas: uma revisão bibliométrica e sistemática da literatura. **Universidad y Sociedad, Cienfuegos**, v. 13, n. 4, p. 49-57, ago. 2021. Acesso em: 20 abr. 2026.

MATOS, I. de. Logística Sustentável e Competitividade: Estratégias para Redução de Custos e Impacto Ambiental no Transporte Rodoviário. RCMOS - **Revista Científica Multidisciplinar O Saber**, [s.l.], v. 1, n. 8, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.51473/rcmos.v1i8.2021.1392>. Acesso em: 27 abr. 2026.

MULHOLLAND, E.; TETER, J.; CAZZOLA, P.; MCDONALD, Z.; GALLACHÓIR, B, P. A longa jornada rumo à descarbonização do transporte rodoviário de mercadorias – Uma avaliação global até 2050. **Applied Energy**, [s.l.], v. 216, p. 678-693, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.058>. Acesso em: 04 mai. 2026.

NASH-STEWART, C.; KRUESI, L.; DEL MAR, C. A Lei de Dispersão de Bradford prevê o tamanho da literature nas Revisões Cochrane? **Journal of the Medical Library Association: JMLA**, [s.l.], v. 100, n. 2, p. 135-138, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3163/1536-5050.100.2.013>. Acesso em: 11 abr. 2026.

OLIVEIRA, T. D.; SANTOS, T, C.; WEILER, J.; AGUIAR, A, O.; FERNANDES, C, C.; ZIGLIO, L. The contribution of the University of São Paulo to the scientific production on climate change: a bibliometric analysis. **Discover Sustainability**, [s.l.], v. 5, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00301-7>. Acesso em: 23 mai. 2026.

OPENAI. ChatGPT (modelo GPT-5.5). San Francisco, CA: OpenAI, 2026. Disponível em: <https://chatgpt.com>. Acesso em: 15 maio. 2026.

PESSINI, L.; SGANZERLA, A. Evolução histórica e política das principais conferências mundiais sobre o clima e meio ambiente. **Revista Iberoamericana de Bioética**, [s.l.], n. 10, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.14422/rib.i01.y2016.009>. Acesso em: 09 abr. 2026.

PICONE, M.; FALANGA, A.; HENKE, I.; GRECO, F. M.; CARTENÌ, A. (2025). Decarbonizing Road Transport: A Systematic Review of Methods and Models for Emission Impact Assessment. **WSEAS Transactions on Environment and Development**. <https://doi.org/10.37394/232015.2025.21.56> Acesso em: 18 mai. 2026.

RESITOGLU, I., ALTINIŞIK, K., & KESKİN, A. (2014). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 17, 15-27. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0793-9>

RIBEIRO, D.; OLIVEIRA, E. Desenvolvimento sustentável e a política de ciência,

tecnologia e inovação no Brasil. **O Social em Questão**, Rio de Janeiro, n. 66, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.17771/pucrio.osq.66435>. Acesso em: 15 mai. 2026.

SANCHO, R. Indicadores bibliométricos utilizados en la evaluación de la ciencia y la tecnología. Revisión bibliográfica. **Revista Española de Documentación Científica**, [s.l.], v. 13, p. 842-865, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.3989/redc.1990.v13.i3.842>. Acesso em: 02 abr. 2026.

SOUSA, M. N. A. de; ALMEIDA, E. P. de O.; BEZERRA, A. L. D. Bibliometrics: what is it? What is it used for? And how to do it?. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, [s.l.], v. 16, n. 2, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/cuadv16n2-021>. Acesso em: 21 abr. 2026.

SUPROŃ, B., & ŁĄCKA, I. (2023). Research on the Relationship between CO2 Emissions, Road Transport, Economic Growth and Energy Consumption on the Example of the Visegrad Group Countries. **ENERGIES**, 16(3), 1340. <https://doi.org/10.3390/en16031340>.

VARGAS, M.; RADAELLI, A. B.; KLOC, A. E.; FERREIRA, M. A. N.; SÁ, H. A. Análise da Produção Científica sobre Política de Inovação. **Brazilian Journal of Information Science**, Marília, v. 17, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.36311/1981-1640.2023.v17.e023058>. Acesso em: 19 abr. 2026.

WALTMAN, L. A review of the literature on citation impact indicators. **Journal of Informetrics**, [s.l.], v. 10, p. 365-391, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.02.007>. Acesso em: 08 mai. 2026.

WANG, X.; DONG, X.; ZHANGC, Z.; WANG, Y. Carbon reduction technologies in transport: a review of fundamentals, application, and performance. **Journal of Traffic and Transportation Engineering** (English Edition), [s.l.], v. 11, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2024.11.001>. Acesso em: 26 mai. 2026.

HISTÓRICO:

ORIGINAL RECEBIDO EM: 02-07-2026

ACEITO PARA PUBLICAÇÃO EM: 31-07-2026