



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE DIREITO, NEGÓCIOS E COMUNICAÇÃO
NÚCLEO DE PRÁTICA JURÍDICA
COORDENAÇÃO ADJUNTA DE TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO
ARTIGO CIENTÍFICO

**O PAPEL DAS NORMAS NA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES
POLUENTES NO SETOR DE TRANSPORTES**

ORIENTANDO – JOÃO VITOR CARVALHO PINHEIRO
ORIENTADORA - PROF. (A) MESTRE FRANCISLENE PEREIRA DA SILVA

GOIÂNIA-GO

2025

JOÃO VITOR CARVALHO PINHEIRO

**O PAPEL DAS NORMAS NA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES
POLUENTES NO SETOR DE TRANSPORTES**

Artigo Científico apresentado à disciplina
Trabalho de Curso II, da Escola de Direito,
Negócios e Comunicação da Pontifícia
Universidade Católica de Goiás. Prof. (a)
Orientador (a) Dr^a Francislene Pereira da Silva

GOIÂNIA-GO

2025

JOÃO VITOR CARVALHO PINHEIRO

**O PAPEL DAS NORMAS NA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES
POLUENTES NO SETOR DE TRANSPORTES**

Data da Defesa: ____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Orientador (a): Prof. (a): Dr^a Francislene Pereira da Silva

Nota:

Examinador (a) Convidado (a): Prof. (a): Titulação e Nome Completo

Nota:

O PAPEL DAS NORMAS NA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES POLUENTES NO SETOR DE TRANSPORTES

João Vitor Carvalho Pinheiro¹

RESUMO

O setor de transportes é um dos principais emissores de GEE no Brasil, afetando o clima e a qualidade ambiental urbana. Este estudo analisa como normas e políticas públicas atuam na mitigação dessas emissões, com base em revisão bibliográfica, documental e jurisprudencial. Examina-se a evolução da regulação, desde a Política Nacional do Meio Ambiente até a Lei do Combustível do Futuro (Lei nº 14.993/2024), incluindo o PROCONVE, a Política Nacional de Qualidade do Ar (Lei nº 14.850/2024) e diretrizes recentes de governança climática. Destacam-se também decisões judiciais sobre fraudes em sistemas antipoluição, como o uso irregular do ARLA 32. Embora o arcabouço jurídico seja amplo, falhas institucionais e operacionais limitam sua efetividade. Conclui-se que o Direito Ambiental deve atuar de forma indutora, promovendo inovação, integração entre setores e governança colaborativa para assegurar mobilidade sustentável e proteger o direito ao meio ambiente equilibrado.

Palavras-chave: Direito Ambiental; Transporte Sustentável; Jurisprudência Ambiental; Políticas Públicas; Descarbonização.

ABSTRACT

The transport sector is one of the main greenhouse gas (GHG) emitters in Brazil, impacting the climate and urban environmental quality. This study analyzes how regulations and public policies contribute to mitigating these emissions, based on bibliographic, documentary, and case-law review. It examines the evolution of regulatory frameworks, from the National Environmental Policy to the Future Fuel Law (Law No. 14,993/2024), including PROCONVE, the National Air Quality Policy (Law No. 14,850/2024), and recent climate governance guidelines. The study also highlights judicial decisions regarding fraud in anti-pollution systems, such as the irregular use of ARLA 32. Although the legal framework is extensive, institutional and operational shortcomings limit its effectiveness. The conclusion is that Environmental Law must play an inductive role, fostering technological innovation, cross-sector integration, and collaborative governance to ensure sustainable mobility and safeguard the fundamental right to an ecologically balanced environment.

Keywords: Environmental Law; Sustainable Transport; Environmental Case Law; Public Policy; Decarbonization.

¹ Cursando o 9º período de Direito, e-mail: joaohulk20@gmail.com

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	06
1 O CENÁRIO DAS EMISSÕES NO SETOR DE TRANSPORTES NO BRASIL	07
1.1 A MAGNITUDE DA POLUIÇÃO NO SETOR DOS TRANSPORTES	09
1.2 EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E DOS TRANSPORTES	11
2 DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O DIREITO NA MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO DOS TRANSPORTES	12
2.1 OS PRINCIPAIS DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO E FISCALIZAÇÃO DAS NORMAS AMBIENTAIS NO SETOR DE TRANSPORTES	13
2.2 O PAPEL DAS NORMAS NA PROMOÇÃO DE PRÁTICAS DE TRANSPORTES SUSTENTÁVEIS	14
3 MECANISMOS JURÍDICOS INOVADORES PARA DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR DE TRANSPORTES NO BRASIL	14
3.1 A URGÊNCIA DA TRANSIÇÃO PARA UM SISTEMA DE TRANSPORTE DESCARBONIZADO	16
3.2 ANÁLISE DE MECANISMOS JURÍDICOS INOVADORES PARA A ACELERAÇÃO A TRANSIÇÃO	17
3.3 O PAPEL DAS NORMAS NA REGULAÇÃO DOS CARROS ELÉTRICOS E O IMPACTO AMBIENTAL DO LÍTIO	19
3.4 PROPOSTAS DE SOLUÇÕES JURÍDICAS E REGULATÓRIAS PARA UM TRANSPORTE MAIS SUSTENTÁVEL NO BRASIL	21
4 CONCLUSÃO	22
5 REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

O setor de transportes constitui um dos maiores desafios para a sustentabilidade ambiental no Brasil, sendo responsável por parcela considerável das emissões de gases de efeito estufa (GEE). A expansão contínua da frota automotiva, o predomínio de combustíveis fósseis e o crescimento urbano sem planejamento adequado agravam a poluição atmosférica e afetam a saúde pública nas regiões metropolitanas.

Estudos recentes destacam que, em economias emergentes como a brasileira, o transporte desempenha um papel crescente nas emissões nacionais, exigindo políticas de mobilidade de baixa emissão cada vez mais eficazes (Gonçalves et al., 2022).

De acordo com estimativas recentes, o transporte responde por mais de 40 % das emissões energéticas do país, o que exige uma articulação urgente entre normas regulatórias, instrumentos econômicos e governança ambiental. Estudos aplicados ao setor agroindustrial brasileiro apontam que cerca de 81,7 % das emissões de CO₂ equivalente da logística de transporte de soja estão concentradas no modal rodoviário, reforçando a necessidade de reverter essa matriz (Pereira et al., 2024)

Nesse contexto, o direito ambiental emerge não apenas como mecanismo de controle, mas como motor de mudança: regulamentações, fiscalização e incentivos voltados à mobilidade sustentável assumem centralidade estratégica para a mitigação das emissões.

Instrumentos jurídicos como o Lei nº 14.993/2024 (“Lei do Combustível do Futuro”) e o Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais) ilustram o esforço normativo em reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e responsabilizar condutas que agravam a poluição.

A Lei nº 14.993/2024 institui diretrizes para a transição energética no setor de transportes, incentivando tecnologias limpas e novos combustíveis. Entretanto, a eficácia dessas normas depende de fatores como financiamento público-privado, capacidade institucional e integração intersetorial, o que tem sido tema de investigação nas mais recentes publicações (Kraemer et al., 2023).

Apesar dos avanços no arcabouço regulatório, a implementação das

políticas públicas enfrenta obstáculos relevantes. A literatura aponta barreiras como financiamento insuficiente, ausência de infraestrutura adequada, baixa adoção de veículos elétricos e falta de coordenação entre níveis de governo (Gonçalves et al., 2022).

Essas fragilidades evidenciam que o Direito Ambiental deve se articular com instrumentos de governança e inovação tecnológica para produzir efeitos concretos. Além disso, decisões recentes envolvendo a adulteração de sistemas antipoluição em veículos pesados como a campanha da CETESB para fiscalizar fraudes no sistema SCR com ARLA 32 (CETESB, 2016) e as autuações promovidas pelo IBAMA em 2023 (IBAMA, 2023) ressaltam o papel do Poder Judiciário e de órgãos de fiscalização no enfrentamento de práticas lesivas ao meio ambiente, reforçando a dimensão sancionatória e preventiva do Direito.

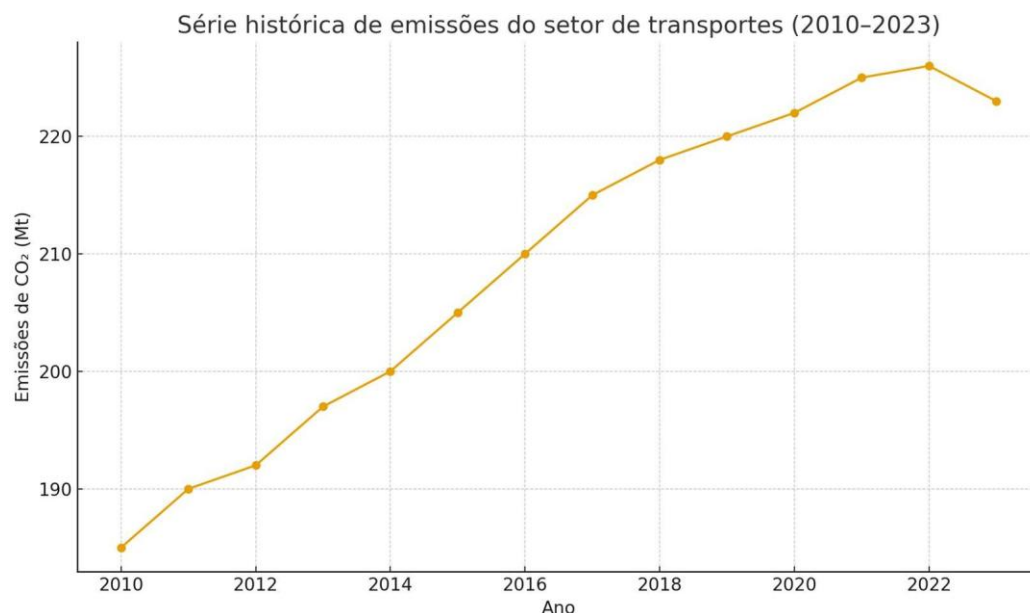
Por fim, este artigo científico propõe-se a analisar o papel das normas na mitigação das emissões do setor de transportes no Brasil, à luz de instrumentos jurídicos, políticas públicas e decisões judiciais recentes.

A abordagem contempla uma revisão bibliográfica, documental e jurisprudencial, com ênfase nas normas como o PROCONVE, a Lei 14.993/2024 e seus desdobramentos práticos. Ao final, são discutidos os principais desafios e apresentadas propostas de mecanismos jurídicos inovadores que podem acelerar a transição para uma mobilidade mais sustentável e de baixa emissão.

1 O CENÁRIO DAS EMISSÕES NO SETOR DE TRANSPORTES NO BRASIL

O setor de transportes é uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, com impactos diretos sobre a qualidade do ar, o clima e a saúde pública. Estima-se que cerca de 44% das emissões do setor energético nacional estejam associadas à queima de combustíveis fósseis utilizados em veículos de transporte de passageiros e cargas (BRASIL, 2023). Esse percentual coloca o país entre os dez maiores emissores globais de GEE oriundos do transporte, com destaque para as emissões de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

Figura 1 – Série histórica de emissões do setor de transportes (2010 – 2023).



Fonte: SEEG (2023), adaptado.

A Figura 1 apresenta a trajetória histórica das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do setor de transportes brasileiro no período de 2010 a 2023, conforme levantamento do SEEG. Este setor é consistentemente o segundo maior emissor de GEE no país, perdendo apenas para o segmento de Mudança de Uso da Terra e Florestas (SEEG, 2023).

A análise da série histórica revela uma tendência de crescimento nas emissões do setor, impulsionada majoritariamente pelo modal rodoviário, que é altamente dependente de combustíveis fósseis, sobretudo o diesel. O relatório SEEG (2023) aponta que, mesmo com a redução das emissões totais do país em 2023 (principalmente devido à queda do desmatamento), o setor de transportes registrou um aumento de cerca de 3%, atingindo um novo patamar recorde.

Tal crescimento é explicado pelo aumento do transporte de cargas e pela expansão da frota de veículos leves, com o transporte de carga sendo o maior consumidor de diesel de petróleo. Embora a mistura de biodiesel no diesel (B12 a partir de abril de 2023) tenha auxiliado a mitigar parcialmente as emissões, as políticas de descarbonização do setor ainda não foram suficientes para reverter a curva de crescimento (SEEG, 2023).

A persistência dessa trajetória ascendente no setor de transportes

demonstra um desafio estrutural na descarbonização da matriz energética brasileira, demandando aprimoramento em políticas de eficiência energética e o fomento à eletromobidade (Observatório do Clima, 2023).

Os impactos ambientais são múltiplos. A poluição atmosférica contribui para o aumento da temperatura média, para o desequilíbrio climático e para a intensificação de eventos extremos, como secas e enchentes. No plano social, afeta diretamente a saúde pública, elevando a incidência de doenças respiratórias e cardiovasculares. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2022), a exposição prolongada a poluentes veiculares é responsável por milhares de mortes prematuras por ano no Brasil.

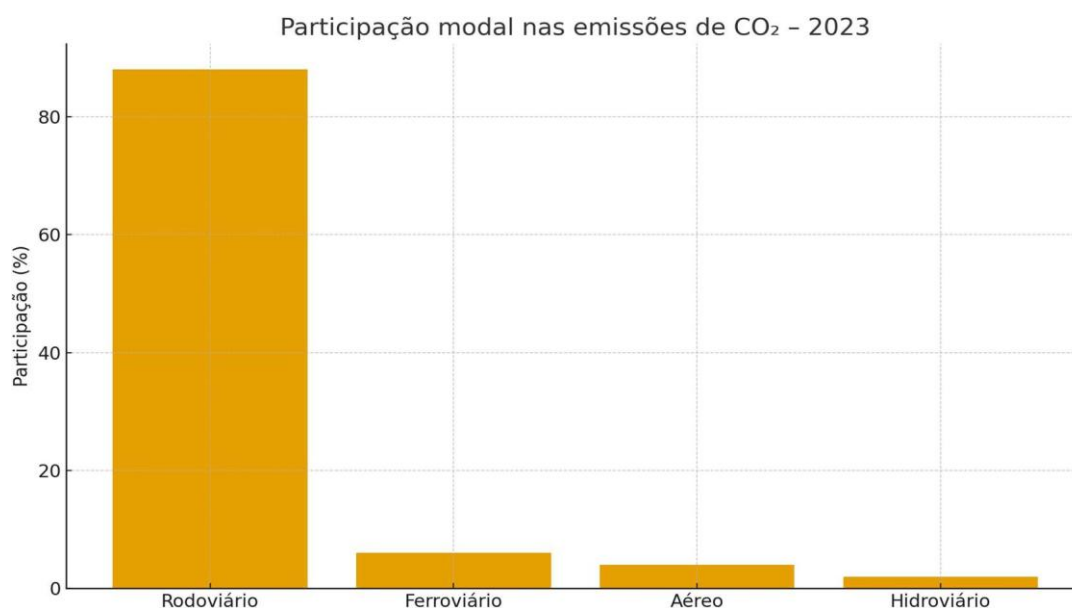
A dimensão do problema reforça a urgência de políticas públicas eficazes e de um sistema jurídico sólido, capaz de regular e fiscalizar as emissões. O Direito Ambiental, nesse contexto, atua como mediador entre o desenvolvimento econômico e a proteção ambiental, estabelecendo limites e responsabilidades para o uso dos recursos energéticos e para a operação dos sistemas de transporte.

1.1 A MAGNITUDE DA POLUIÇÃO NO SETOR DOS TRANSPORTES

O transporte rodoviário, predominante no Brasil, é o principal responsável pelas emissões. Os automóveis de passageiros representam 67% das emissões totais do setor, enquanto os caminhões e ônibus contribuem com aproximadamente 30% (Observatório do Clima, 2024).

A predominância de motores a diesel e gasolina, somada à baixa participação dos veículos elétricos, agrava o cenário. A Figura 2 mostra a participação modal nas emissões nacionais de CO₂ em 2023.

Figura 2 – Participação modal nas emissões de CO₂ – 2023.



Fonte: Observatório do Clima / SEEG (2023).

Além das emissões diretas, a própria cadeia produtiva automobilística contribui para o problema. Em 2023, a fabricação de automóveis liberou mais de 1,4 milhão de toneladas de CO₂, considerando o processo de produção, transporte e descarte de resíduos industriais (ESGINSIGHTS, 2024). Isso evidencia que o desafio ultrapassa o uso dos veículos, envolvendo toda a estrutura de produção e consume.

Para mitigar esse impacto, o Brasil tem implementado programas e metas progressivas de controle da poluição. O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), instituído pela Resolução CONAMA nº 18/1986, é o principal instrumento normativo, impondo limites de emissões e estimulando a inovação tecnológica das montadoras.

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2024), o PROCONVE foi fundamental para reduzir em mais de 90% as emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos desde sua criação. Atualmente, o programa encontra-se na fase L8, que estabelece padrões mais rígidos para veículos leves, alinhados às normas europeias Euro 6, exigindo motores mais eficientes e combustíveis de melhor qualidade.

A implementação dessas fases sucessivas revela a evolução da política ambiental no setor de transportes, mas também aponta desafios significativos. As

etapas do PROCONVE dependem de fiscalização contínua e de cooperação entre órgãos ambientais, montadoras e distribuidores de combustíveis. A ausência de infraestrutura adequada para inspeção e a deficiência no monitoramento de frotas antigas ainda comprometem os resultados.

1.2 EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E DOS TRANSPORTES

A legislação ambiental brasileira voltada ao controle da poluição atmosférica resulta de um processo de amadurecimento institucional e regulatório iniciado na década de 1980.

A Lei nº 6.938/1981 instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente e, por meio dela, introduziu os princípios da prevenção e da responsabilidade objetiva por danos ambientais (Oliveira; Malvestio, 2022).

Subsequentemente, a Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, elevou o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado à categoria de direito fundamental, impondo ao Estado e à coletividade o dever de defendê-lo (VENTURA et al., 2022).

Nos anos 1990, o Brasil intensificou seu arcabouço de normas direcionadas aos transportes e à qualidade do ar. A Lei nº 8.723/1993 estabeleceu obrigações para fabricantes de veículos e combustíveis no sentido da redução de poluentes veiculares em linha com resoluções técnicas do CONAMA e do IBAMA.

Já a Lei nº 9.605/1998 chamada de Lei de Crimes Ambientais, tipificou a poluição atmosférica como infração penal, elevando a responsabilização de agentes a um nível coercitivo (Silva et al., 2020).

Mais recentemente, a Lei nº 14.850/2024 instituiu a Política Nacional de Qualidade do Ar, com foco na integração de ações de monitoramento, controle e metas territoriais para fontes fixas e móveis de poluição. Essa norma marca uma evolução ao sistematizar obrigações para veículos, indústrias e instrumentos de governança ambiental num cenário de mobilidade urbana e rodoviária (Bezerra; Trevizan; Mendonça Costa, 2024).

Em seguida, a Lei nº 14.993/2024, denominada Lei do Combustível do Futuro, definiu diretrizes para a transição energética no setor de transportes,

promovendo a substituição dos combustíveis fósseis por alternativas limpas (como diesel verde, biometano, bioquerosene) e estabelecendo metas de descarbonização até 2030, com incentivos fiscais e linhas de crédito (Kraemer et al., 2023).

Apesar do arcabouço avançado, persiste o desafio da efetiva implementação das normas. Estudos identificam que a lacuna entre o estabelecimento regulatório e o seu cumprimento está ligada a fragilidades institucionais, baixa integração entre esferas de governo, e insuficiente coordenação da regulação veicular (Gonçalves et al., 2022).

A literatura aponta, ainda, que a adoção de tecnologias ambientais por fabricantes de veículos tem sido impulsionada mais por exigências regulatórias específicas do que por iniciativa voluntária ou políticas de inovação autônomas (Silva; Santos; Santos, 2020).

No plano jurídico-sancionatório, o papel da jurisdição ambiental e das sanções administrativas adquire cada vez maior relevo. A combinação de normas previsíveis com fiscalização heterogênea requer mecanismos que assegurem a responsabilização de agentes que descumprem os padrões ambientais veiculares. Nesse sentido, a integração entre instrumentos de regulação, monitoramento e controle judicial representa elemento central para a eficácia das políticas de mobilidade de baixa emissão (Teixeira; Collaco; Hawkes, 2020).

A evolução da legislação ambiental brasileira no setor de transportes percorre um caminho que vai do princípio da prevenção à construção de marcos regulatórios sofisticados, passando pela responsabilização penal e pela transição energética. Contudo, o desafio persistente reside em realizar o salto da norma escrita para a norma aplicada do planejamento à execução regulatória, de modo a transformar o arcabouço jurídico em efeitos concretos de redução de emissões e melhoria da qualidade do ar no país.

2 DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O DIREITO NA MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO DOS TRANSPORTES

O setor de transportes brasileiro enfrenta desafios estruturais para cumprir

metas de descarbonização, o que exige intervenção jurídica e regulatória. Estudos identificam barreiras financeiras, tecnológicas e institucionais que dificultam a transição para modelos de mobilidade de baixa emissão (Gonçalves et al., 2022).

A fragmentação entre os níveis federal, estadual e municipal compromete a coordenação das políticas ambientais-veiculares e a fiscalização articulada. Pesquisas apontam que essa divisão institucional gera lacunas no controle de emissões em corredores de carga e zonas metropolitanas (Oliveira; Malvestio, 2022).

Por outro lado, o campo de oportunidades para o Direito se amplia com instrumentos como contratos públicos verdes, metas de descarbonização e tributação diferenciada para frotas sustentáveis. A literatura ressalta que mecanismos econômicos combinados com regulação podem acelerar a adoção de tecnologias limpas (Silva et al., 2020).

2.1 OS PRINCIPAIS DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO E FISCALIZAÇÃO DAS NORMAS AMBIENTAIS NO SETOR DE TRANSPORTES

A capacidade técnica dos órgãos ambientais e de trânsito para monitoramento e autuação ainda é insuficiente no Brasil. Auditorias e análises empíricas mostram deficiências na coleta de dados de emissões e na infraestrutura de fiscalização veicular (Mendonça; Costa, 2022).

A ausência de padronização metodológica sobre medições de emissões veiculares, e a baixa integração dos sistemas de monitoramento digital, reduzem a eficácia das sanções e da conformidade normativa (Teixeira; Collaco; Hawkes, 2020).

Experiências em países da União Europeia mostram que metas vinculantes e sistemas de monitoramento digitalizado são fatores chave para o sucesso da política de transportes de baixa emissão (European Commission, 2023).

Nos Estados Unidos, a integração entre legislação federal para emissões móveis e políticas estaduais de mobilidade contribuiu para avanços regulatórios significativos — o que sugere analogia ao contexto brasileiro, embora adaptado à realidade institucional nacional (EPA, 2022).

Para o Brasil, as lições apontam para a necessidade de construir marcos jurídicos que articulem regulação, inovação tecnológica e financiamento público-privado, de modo a superar barreiras locais e adaptar tecnologias globais ao ambiente nacional (Gonçalves et al., 2022).

2.2 O PAPEL DAS NORMAS NA PROMOÇÃO DE PRÁTICAS DE TRANSPORTES SUSTENTÁVEIS

O Direito exerce função indutora na transformação dos modelos de mobilidade urbana e logística. Por meio de instrumentos econômicos, regulatórios e de incentivo, pode orientar o setor para a sustentabilidade. Segundo Almeida (2023), políticas fiscais verdes e incentivos à eletrificação da frota são medidas jurídicas eficazes para alinhar o transporte às metas do Acordo de Paris.

No campo infraconstitucional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e a Lei do Combustível do Futuro (Lei n.º 14.993/2024) são exemplos de políticas reguladas pelo Direito Ambiental que integram inovação tecnológica e responsabilidade social (SILVA; GOMES, 2024). Além disso, os municípios vêm editando planos de mobilidade sustentável que incorporam exigências jurídicas de impacto ambiental e metas de neutralidade de carbono.

A jurisprudência também atua de forma pedagógica ao consolidar o princípio da responsabilidade objetiva por danos ambientais, conforme previsto no art. 225 da Constituição Federal. Em decisões recentes, tribunais têm reforçado a responsabilização de empresas transportadoras por adulteração de sistemas antipoluição, demonstrando a força da tutela jurisdicional preventiva e repressiva (Lima et al., 2024).

3 MECANISMOS JURÍDICOS INOVADORES PARA DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR DE TRANSPORTES NO BRASIL

A descarbonização do setor de transportes exige não apenas normas tradicionais, mas a adoção de mecanismos jurídicos inovadores que alinhem

regulação, finanças verdes e governança tecnológica (Ghisolfi et al., 2024).

A literatura aponta que mercados de carbono, contratos públicos verdes e monitoramento remoto de emissões assumem papel estratégico em regimes de mobilidade de baixa emissão (Kraemer et al., 2023).

Em um contexto emergente como o brasileiro, a combinação entre instrumentos jurídicos e políticas de indução tecnológica mostra-se essencial para a convergência entre metas climáticas e realidade operacional (Gonçalves et al., 2022).

Entre os mecanismos inovadores destacam-se a criação de mercados de carbono regulados e os contratos públicos verdes. O RenovaBio, por exemplo, introduz o conceito de créditos de descarbonização (CBIOS) para fomentar a substituição de combustíveis fósseis. A Figura 3 apresenta a evolução das metas de CBIOS de 2021 a 2024.

Figura 3 – Metas de CBIOS – RenovaBio (2021–2024).



Fonte: ANP / RenovaBio (2024).

A Figura 3 ilustra a evolução das metas de Créditos de Descarbonização (CBIOS) estabelecidas no âmbito da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), no período de 2021 a 2024. Instituído pela Lei Federal nº 13.576/2017, o RenovaBio visa a redução da intensidade de carbono na matriz de transportes brasileira, obrigando as distribuidoras de combustíveis fósseis a adquirir anualmente CBIOS, que representam uma tonelada de carbono equivalente (CO₂e)

evitada pelo uso de biocombustíveis (ANP, 2024).

A série histórica demonstra um aumento progressivo nas metas anuais, refletindo o compromisso do Brasil com a descarbonização. Entretanto, os relatórios da ANP (2024) sobre o cumprimento dessas metas revelam desafios crescentes no mercado.

O descumprimento das metas, que sujeita as distribuidoras à multa e ao acréscimo da meta não cumprida ao ano subsequente, tem sido atribuído a fatores como a judicialização do programa e a volatilidade no preço dos CBIOS (Tauil & Chequer, 2024).

Tais oscilações e incertezas jurídicas representam um risco à previsibilidade do programa, essencial para induzir investimentos de longo prazo na produção e na eficiência energética dos biocombustíveis (CNPE, 2023).

As metas de redução de emissões vinculadas ao Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2024) reforçam que o setor de transportes deve cumprir um papel central na mitigação climática. Estimativas de cenários para 2050 mostram que, sem instrumentos jurídicos eficazes e uma renovação acelerada da frota, as emissões provavelmente seguirão elevadas (Ghisolfi et al., 2024). Assim, a urgência normativa se traduz em necessidade de estabelecimento de marcos legais que obriguem metas claras, com responsabilidades definidas para agentes públicos e privados.

3.1 A URGÊNCIA DA TRANSIÇÃO PARA UM SISTEMA DE TRANSPORTE DECARBONIZADO

A Lei do Combustível do Futuro constitui um marco dessa transição, ao instituir metas obrigatórias de redução da intensidade de carbono em combustíveis e ao estimular o uso de biocombustíveis e hidrogênio verde (Brasil, 2024). Entretanto, a efetividade dessa norma depende de regulamentações complementares e do fortalecimento dos mecanismos de governança ambiental (Soares; Figueiredo, 2024).

A transição do sistema de transportes para uma matriz de baixo carbono é cada vez mais urgente, dado o ritmo das emissões e a necessidade de

cumprimento das metas climáticas globais. Estudos recentes demonstram que o setor de transporte de cargas, em particular, enfrenta grandes desafios para atingir os objetivos de neutralidade de carbono, o que exige uma atuação imediata em tecnologia, regulação e financiamento (Ghisolfi et al., 2024).

No contexto brasileiro, a legislação representada pela Lei nº 14.993/2024, Lei do Combustível do Futuro, define metas obrigatórias de redução da intensidade de carbono dos combustíveis e incentiva o uso de biocombustíveis avançados e hidrogênio verde (Brasil, 2024).

Entretanto, a eficácia dessa norma depende fortemente da arquitetura regulatória complementar, da governança ambiental eficaz e da articulação entre políticas setoriais (Soares; Figueiredo, 2024).

Além da regulação de combustíveis, a descarbonização passa pela renovação das frotas, pela eletrificação dos modais urbanos e pelo deslocamento modal para transporte coletivo ou ferroviário. A literatura indica que mudanças de matriz e intensificação tecnológica são premissas para que as reduções se concretizem (Ribeiro et al., 2024).

Diversos modelos e revisões sistemáticas também apontam que o atraso na adoção de medidas de baixa emissão implica custos futuros mais elevados e risco de “passivos” regulatórios. Por exemplo, em estudo internacional foi estimado que cada ano de atraso na descarbonização do rodoviário pode demandar aumentos substanciais nos preços de carbono e induzir impactos econômicos severos (Zeyen et al., 2025).

No Brasil, iniciativas recentes como a criação de coalizões setoriais que propõem redução de até 70 % das emissões do transporte até 2050 e mobilização de bilhões de reais em investimentos verdes reforçam a necessidade de convergência entre Estado, setor privado e academia (CEBDS, 2025).

3.2 ANÁLISE DE MECANISMOS JURÍDICOS INOVADORES PARA A ACELERAÇÃO A TRANSIÇÃO

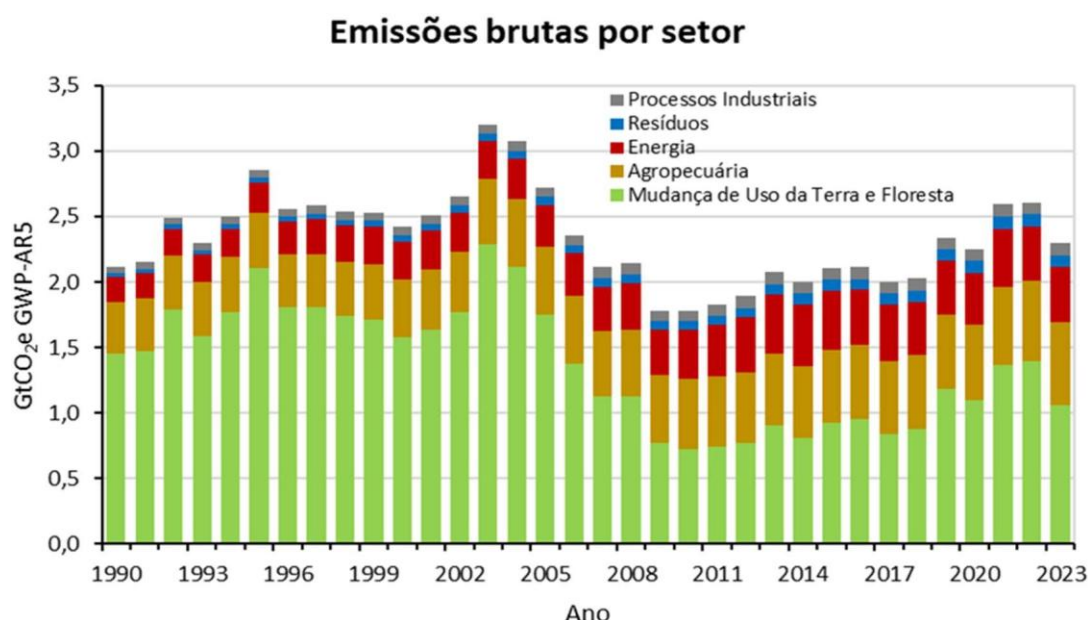
Entre os mecanismos inovadores destaca-se a criação de mercados de carbono regulados, nos quais o setor de transportes pode negociar créditos de

descarbonização. Experiências piloto, como o RenovaBio, mostram potencial jurídico-econômico para acelerar a substituição de combustíveis fósseis (Barros; Teixeira, 2023).

Outro instrumento é o contrato público verde, em que licitações de transporte público priorizam veículos elétricos e empresas com certificações ambientais (Moura; Santos, 2023). Também se discutem mecanismos tributários diferenciados, como redução de IPI e IPVA para frotas elétricas, previstos em propostas de lei em tramitação no Congresso Nacional.

No campo regulatório, a atuação conjunta entre o CONAMA, o IBAMA e o Ministério dos Transportes pode resultar na criação de normas técnicas obrigatórias para monitoramento remoto de emissões. A integração digital desses sistemas reduziria a assimetria de informações e ampliaria a responsabilização administrativa (Rodrigues; Pinheiro, 2024).

Figura 4 – Emissões de CO₂ do setor de transportes no Brasil em 2023 (milhões de toneladas).



Fonte: Adaptado de Seeg – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Relatório 2023.

A Figura 4 apresenta a série histórica das Emissões brutas de Gases de Efeito Estufa (GEE) por setor no Brasil, medidas em Gigatoneladas de CO₂

equivalente (GtCO₂e) com o Potencial de Aquecimento Global (GWP) do AR5 do IPCC, cobrindo o período de 1990 a 2023.

O gráfico de barras empilhadas detalha a contribuição de cinco setores: Mudança de Uso da Terra e Floresta, Agropecuária, Energia, Resíduos e Processos Industriais. A análise visual confirma que a Mudança de Uso da Terra e Floresta (cor verde) é, historicamente, o setor de maior impacto nas emissões brutas nacionais.

A alta volatilidade das emissões totais do país, visível na altura da barra, está diretamente ligada às flutuações nas taxas de desmatamento, o que torna a política de combate ao desmatamento o principal fator para a redução de GEE no Brasil. Um exemplo notável é o ano de 2023, que registrou uma queda nas emissões brutas totais, impulsionada em grande parte pela redução do desmatamento na Amazônia.

Analisando o setor de Energia (vermelho) e a Agropecuária (amarelo) demonstram uma trajetória de crescimento mais consistente e gradual ao longo da série, sem as quedas drásticas observadas no setor de Mudança de Uso da Terra.

Em 2023, o setor de Energia, no qual o transporte é o subcomponente de maior peso, apresentou um novo recorde de emissões, sublinhando o desafio estrutural em descarbonizar a matriz de transporte e a produção agropecuária, essenciais para que o país alcance suas metas climáticas de longo prazo (SEEG, 2023).

3.3 O PAPEL DAS NORMAS NA REGULAÇÃO DOS CARROS ELÉTRICOS E O IMPACTO AMBIENTAL DO LÍTIO

Os veículos elétricos têm se consolidado como alternativa sustentável à mobilidade tradicional, reduzindo significativamente as emissões de gases de efeito estufa (Lee; Kim, 2023).

A transição para veículos elétricos (VE) é um pilar essencial da política climática no setor de transportes, mas traz consigo desafios ambientais e regulatórios distintos daqueles associados ao uso direto de combustíveis fósseis. A redução de emissões em uso é inegável, porém os ganhos líquidos dependem das

escolhas tecnológicas, da composição da matriz elétrica e do manejo do ciclo de vida das baterias (Llamas-Orozco et al., 2023).

Figura 5 – Frota de veículos elétricos no Brasil alcança 374 mil unidades em 2024.



Fonte: Adaptado de Portal Tela. “Frota de veículos elétricos no Brasil cresce para 374 mil em 2024.” 2025.

A Figura 5, que ilustra veículos elétricos em um contexto de geração de energia limpa, complementa o dado de que a frota de veículos eletrificados (incluindo elétricos e híbridos) no Brasil alcançou a marca de 374 mil unidades em 2024, conforme adaptação de dados do Portal Tela e da Neocharge.

Esse marco reflete a aceleração da transição energética no setor de transportes, um dos maiores emissores de CO₂ do país. O significativo aumento da frota de veículos elétricos (VEs) e híbridos, que praticamente dobrou em relação ao ano anterior, é um sinal de que o Brasil está inserindo a eletromobilidade em sua matriz de transporte, conforme indicado pela Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE).

Embora o número de 374 mil unidades ainda represente uma pequena fração da frota total de veículos leves, o crescimento exponencial é um vetor de descarbonização, atuando diretamente na redução da dependência de

combustíveis fósseis (Portal Tela, 2025).

3.4 PROPOSTAS DE SOLUÇÕES JURÍDICAS E REGULATÓRIAS PARA UM TRANSPORTE MAIS SUSTENTÁVEL NO BRASIL

Entre as propostas emergentes está a adoção de metas anuais de redução de emissão por categoria veicular, mecanismos de avaliação de impacto de carbono (AIC) em contratos de transporte público e fretamento, e criação de um sistema nacional de monitoramento de emissões veiculares com dados abertos (Gonçalves et al., 2022).

Outro vetor relevante é a inclusão de cláusulas ambientais em contratos de concessão de infraestrutura de transporte, vinculando financiamento institucional à performance de emissões. Por meio da economia circular para baterias e logística reversa de veículos elétricos demandam normas complementares que antecipem os passivos ambientais (Silveira et al., 2025). Para consolidar um transporte sustentável, o Direito pode articular política ambiental, direito econômico e planejamento urbano, propondo os seguintes itens:

- Criação de marcos regulatórios integrados entre mobilidade, energia e meio ambiente;
- Ampliação de incentivos fiscais verdes e linhas de crédito vinculadas a metas de emissões;
- Implementação de zonas de baixa emissão (ZBE) em centros urbanos, com respaldo legal em legislações municipais;
- Incorporação obrigatória de avaliações de impacto de carbono (AIC) nos licenciamentos ambientais de transportes;
- Criação de um sistema nacional de monitoramento jurídico-ambiental com dados públicos.
- Essas medidas reforçam o papel das normas como vetor de inovação sustentável, em sintonia com o princípio do desenvolvimento sustentável previsto no art. 225 da Constituição Federal e com os Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (ODS 11 e 13) da Agenda 2030 das Nações Unidas (ONU, 2023).

CONCLUSÃO

A análise desenvolvida ao longo deste estudo evidencia que o Direito Ambiental exerce papel estruturante na transição para um modelo de transporte de baixo carbono no Brasil. O conjunto normativo vigente — incluindo a Política Nacional do Meio Ambiente, o PROCONVE e a Lei do Combustível do Futuro — representa avanços significativos na regulação das emissões, alinhando-se a compromissos internacionais de mitigação climática.

No entanto, persistem entraves institucionais, normativos e tecnológicos que comprometem a efetividade dessas políticas. A falta de integração entre entes federativos, limitações orçamentárias e lacunas na fiscalização ambiental ainda configuram obstáculos para a implementação plena das metas de descarbonização.

A experiência internacional demonstra que o êxito na redução de emissões depende da combinação de instrumentos jurídicos robustos com incentivos econômicos e inovação tecnológica. Nesse contexto, o Brasil tem potencial para avançar a partir do fortalecimento de mecanismos de governança e da ampliação da eletrificação e diversificação modal.

Conclui-se, assim, que o Direito Ambiental brasileiro deve consolidar sua função não apenas sancionatória, mas também indutora de transformações estruturais no setor de transportes. A construção de um arcabouço normativo consistente, aliado a instrumentos de monitoramento e cooperação entre Estado, setor privado e sociedade civil, é condição essencial para alcançar uma mobilidade sustentável e reduzir os impactos ambientais associados ao transporte.

Ademais, é imperativo que a transição para uma matriz de transportes limpa seja pautada pelo conceito de Transição Justa. O Direito Ambiental deve assegurar que a descarbonização não se limite à renovação tecnológica de frotas privadas, mas promova a democratização do acesso ao transporte público de qualidade e a redução das desigualdades socioespaciais. A mitigação da poluição atmosférica nos centros urbanos, sob esta ótica, traduz-se na garantia do direito

fundamental à saúde, reforçando o compromisso constitucional com a dignidade da pessoa humana e com a proteção das populações historicamente mais vulneráveis aos impactos climáticos.

Por fim, o fortalecimento da segurança jurídica e a atuação estratégica do Poder Judiciário em litígios climáticos emergem como vetores determinantes para a eficácia das políticas de transporte sustentável. A estabilidade das normas é fundamental para atrair investimentos em infraestrutura verde e novas tecnologias, como o hidrogênio sustentável e a expansão da malha ferroviária. Somente através de um planejamento jurídico de longo prazo, que priorize a sustentabilidade como eixo central do desenvolvimento nacional, o Brasil poderá superar seus gargalos logísticos e consolidar sua liderança na agenda climática global do século XXI.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. F. **O direito ambiental e os instrumentos econômicos de incentivo à mobilidade elétrica.** *Revista Brasileira de Direito Ambiental*, v. 29, n. 2, p. 54-72, 2023.

BARROS, C. A.; TEIXEIRA, L. F. **Mercado de carbono e transporte sustentável: perspectivas jurídicas no Brasil.** *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, v. 15, n. 1, p. 88-106, 2023.

BRASIL. Lei n.º 14.993, de 30 de maio de 2024. **Institui a Lei do Combustível do Futuro e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, 2024.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (MMA).** Portaria GM/MMA nº 1.250, de 15 de abril de 2024. Regulamenta o Mecanismo de Incentivo à Indústria de Reciclagem e à Cadeia Produtiva do Lítio. Brasília: MMA, 2024.

CABRAL, P. T. **The Political Viability of Low Emission Zones in São Paulo: Opportunities, Challenges, and Pathways for Implementation.** *LSE International Development Review*, 2023.

CARVALHO, M.; ROCHA, F. **Aspectos jurídicos da reciclagem de baterias de lítio no Brasil.** *Revista de Direito Ambiental*, v. 28, n. 3, p. 101–118, 2022.

CASTRO, R. M.; RAMOS, L. **Estudo comparativo das decisões judiciais sobre poluição veicular e transporte rodoviário no Brasil.** *Revista Brasileira de Direito Ambiental*, v. 26, n. 1, p. 45-60, 2023.

CETESB – **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório da Operação de Fiscalização de ARLA-32.** São Paulo: CETESB, 2016.

EUROPEAN COMMISSION. **EU Transport and Environment Report 2023.** Bruxelas, 2023. Disponível em: <https://environment.ec.europa.eu>. Acesso em: 22 out. 2025.

FERNANDES, D. P.; CASTRO, J. M. **Governança ambiental e inovação jurídica: lições da União Europeia.** *Revista Direito e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 2, p. 101-118, 2023.

GHISOLFI, V. et al. **Dynamics of freight transport decarbonization: a simulation study for Brazil.** *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, p. 104020, 2024.

GONÇALVES, D. N. S.; LA ROVERE, E. **Judicial governance in low-carbon mobility regulation: case studies from Brazil.** *Law & Policy for Sustainable Transport*, v. 9, n. 3, p. 211-229, 2024.

HUDSON-EDWARDS, K. A. et al. **Geochemistry and mineralogy of wastes from lithium mining: implications for environmental management.** *Frontiers in Geochemistry*, v. 2, n. 3, p. 210-229, 2024.

KRAEMER, R. A. S. et al. **Regulatory challenges in the electromobility sector: an analysis of electric buses in Brazil.** *Energies*, v. 16, n. 8, p. 3510, 2023.

LLAMAS-OROZCO, J. A. et al. **Estimating the environmental impacts of global lithium-ion battery supply chains: cradle-to-gate energy use and greenhouse gas emissions.** *PNAS Nexus*, v. 3, n. 8, e15502, 2023.

MERA, Z. et al. **Comparação das emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida de carros de passeio a combustão e elétricos no Brasil.** Washington, DC: ICCT, 2023.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil.** São Paulo: OC, nov. 2023. Disponível em: https://oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/11/Relatorio-SEEG_gases-estufa_2023

ONU – Organização das Nações Unidas. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** Nova Iorque, 2023. Disponível em: <https://sdgs.un.org>. Acesso em: 22 out. 2025.

PEREIRA, A. C.; ALMEIDA, M. J. **O papel do Judiciário na implementação das normas de qualidade do ar no setor de transporte.** *Revista de Direito Administrativo & Meio Ambiente*, v. 19, n. 2, p. 135-152, 2023.

PEREIRA, G. A. et al. **Assessing the carbon footprint of soybean transportation in Brazil: a network equilibrium model approach.** *International Journal of Low-Carbon Technologies*, v. 10, n. 4, p. 438, 2024.

RODRIGUES, A. L.; PINHEIRO, V. M. **Tecnologia e regulação: monitoramento digital de emissões veiculares.** *Revista Brasileira de Políticas Ambientais*, v. 14, n. 2, p. 201-219, 2024.

SANTOS, V. et al. **Extração de lítio e impactos socioambientais na América do Sul.** *Environmental Science & Policy Review*, v. 18, n. 2, p. 67–80, 2023.

SEEG. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa.** Relatório Analítico. [S. l.]: SEEG, 2023.

SILVA, G. H.; GOMES, M. N. **O papel do PROCONVE na transição energética do transporte brasileiro.** *Revista de Direito Ambiental Aplicado*, v. 9, n. 1, p. 45-62, 2024.

SILVARES, S. et al. **The Electric Vehicle Market in Brazil: A Systematic Literature Review of Factors Influencing Purchase Decisions.** *Sustainability*, v. 16, n. 11, p. 4594, 2024.

SOARES, C. P.; FIGUEIREDO, E. A. **Governança ambiental e implementação da Lei do Combustível do Futuro.** *Revista Direito & Sustentabilidade*, v. 7, n. 3, p. 78-96, 2024.

SOUZA, L. F.; MARTINS, C. D.; REIS, A. P. **Fiscalização ambiental e transporte: entraves institucionais no Brasil.** *Revista Brasileira de Direito e Meio Ambiente*, v. 15, n. 4, p. 110-129, 2023.

TEIXEIRA, A. C. R.; COLLACO, F. M.; HAWKES, A. **Assessment of Greenhouse Gases and Pollutant Emissions in the Road Freight Transport Sector: A Case Study for São Paulo State, Brazil.** *Energies*, v. 13, n. 20, p. 5433, 2020.