

IMPACTO DA ETIQUETAGEM VEICULAR NA ELETROMOBILIDADE: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A SUSTENTABILIDADE

Thiago de Souza Beté

UNINOVE | thiago.sousa.bete@uni9.edu.br

Heidy Rodriguez Ramos

UNINOVE | heidyr@gmail.com

Sessão Temática 08: Mobilidade Urbana e direito à cidade

Resumo: A eletromobilidade emerge como uma solução estratégica transitiva para a sustentabilidade ambiental, com o potencial de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade do ar urbano. Este estudo tem como objetivo compreender como a etiquetagem veicular, representada pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), pode influenciar a transição para a eletromobilidade, promover uma redução significativa das emissões de CO₂ e contribuir para a sustentabilidade. Com base em dados do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular [PBEV] de 2024, do Anuário da Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores [FENABRAVE] de 2023 e da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) de 2024, foi realizada uma análise comparativa de dados para entender como a etiquetagem veicular pode influenciar a transição para a eletromobilidade, reduzir as emissões de CO₂ e contribuir com a sustentabilidade. Além disso, são discutidos os desafios e as oportunidades para acelerar essa transição, com base nos dados e nas políticas governamentais que podem apoiar o avanço.

Palavras-chave: Eletromobilidade; emissões de CO₂; Etiquetagem Veicular; Política Governamental; Sustentabilidade.

IMPACT OF VEHICLE LABELING ON ELECTROMOBILITY: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR SUSTAINABILITY

Abstract: Electromobility emerges as a strategic transitional solution for environmental sustainability, with the potential to reduce greenhouse gas emissions and improve urban air quality. This study aims to understand how vehicle labeling, represented by the Brazilian Vehicle Labeling Program (PBEV), can influence the transition to electromobility, promote a significant reduction in CO₂ emissions, and contribute to sustainability. Based on data from the 2024 Brazilian Vehicle Labeling Program [PBEV], the 2023 Yearbook of the National Federation of Motor Vehicle Distribution [FENABRAVE], and the 2024 National Association of Motor Vehicle Manufacturers (ANFAVEA), a comparative data analysis was conducted to understand how vehicle labeling can influence the transition to electromobility, reduce CO₂ emissions, and contribute to sustainability. Additionally, the challenges and opportunities to accelerate this transition are discussed, based on the data and governmental policies that can support progress.

Keywords: CO₂ emissions; Electromobility; Government Policy; Sustainability; Vehicle Labeling.

IMPACTO DEL ETIQUETADO VEHICULAR EN LA ELECTROMOVILIDAD: DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA LA SOSTENIBILIDAD

Resumen: La electromovilidad surge como una solución estratégica transitoria para la sostenibilidad ambiental, con el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire urbano. Este estudio tiene como objetivo comprender cómo el etiquetado vehicular, representado por el Programa Brasileño de Etiquetado Vehicular (PBEV), puede influir en la transición hacia la electromovilidad, promover una reducción significativa de las emisiones de CO₂ y contribuir a la sostenibilidad. Basándose en datos del Programa Brasileño de Etiquetado Vehicular [PBEV] de 2024, el Anuario de la Federación Nacional de Distribución de Vehículos Automotores [FENABRAVE] de 2023 y la Asociación Nacional de Fabricantes de Vehículos Automotores (ANFAVEA) de 2024, se realizó un análisis comparativo de datos para entender cómo el etiquetado vehicular puede influir en la transición hacia la electromovilidad, reducir las emisiones de CO₂ y contribuir a la sostenibilidad. Además, se discuten los desafíos y las oportunidades para acelerar esta transición, basándose en los datos y políticas gubernamentales que pueden apoyar el progreso.

Palabras clave: Electromovilidad; emisiones de CO₂; Etiquetado Vehicular; Política Gubernamental; Sostenibilidad.

INTRODUÇÃO

A eletromobilidade tem se consolidado como uma solução estratégica para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade ambiental em nível global. No Brasil, essa transição ganha relevância devido aos altos índices de emissão de CO₂ oriundos da frota veicular, composta majoritariamente por veículos de combustão interna (VCIs) ou do inglês *Internal Combustion Engine* (ICE). Segundo o Global EV Outlook 2024 (IEA, 2024), o Brasil ainda está distante dos países líderes na adoção de veículos elétricos (VEs) do inglês *Electric Vehicle* (EV) e de veículos híbridos (VHs) do inglês *Hybrid Electric Vehicles* (HEV) como a China e os Estados Unidos, mas políticas públicas e programas de incentivo, como o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), têm potencial para acelerar essa transição.

O PBEV, conforme descrito no relatório (INMETRO, 2024), busca fornecer informações claras sobre as emissões de CO₂ dos veículos, permitindo que os consumidores façam escolhas mais sustentáveis diante das opções do mercado. Esse programa tem sido visto como uma ferramenta fundamental para incentivar a adoção de veículos com menor impacto ambiental, contribuindo diretamente para as metas de sustentabilidade do país. No entanto, a transição para a eletromobilidade enfrenta uma série de desafios, tanto estruturais quanto econômicos, como a falta de infraestrutura de recarga adequada e os altos custos de aquisição de veículos elétricos são alguns dos principais obstáculos (MPOL; MILIOTI; MITROPOULOS, 2023).

Em mercados como o europeu e o asiático, a eletromobilidade tem avançado devido a incentivos fiscais e ao investimento em infraestrutura de recarga, como destacado por Arowolo e Perez (2023). No Brasil, o crescimento da participação de VEs e VHs no mercado tem sido impulsionado por programas de incentivos e a redução de taxas de juros, mas é necessário um esforço contínuo para ampliar ainda mais a adoção dessas tecnologias (FENABRAVE, 2023). Além disso, a análise do custo total de aquisição de um VEs ou VHs, mencionado por Ewelina e Grysa (2021) sugere que, apesar de terem custos operacionais mais baixos se comparado com os VCIs, o alto custo inicial de aquisição ainda desincentiva consumidores de classes econômicas mais baixas.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo compreender como a etiquetagem veicular, representada pelo PBEV, pode influenciar a transição para a eletromobilidade, promover uma redução significativa das emissões de CO₂ e contribuir para a sustentabilidade. A pesquisa se baseia em dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) de 2024, do INMETRO (2024) sobre o PBEV e do Anuário da Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE) de 2023, e discute alguns desafios e oportunidades para melhorar, políticas públicas voltadas para a eletromobilidade que se relaciona com outras camadas do planejamento urbano, essenciais para o cumprimento das metas ambientais e atender os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS).

A contribuição desta pesquisa reside na análise crítica do papel da etiquetagem veicular como uma ferramenta estratégica para acelerar a transição para a eletromobilidade no Brasil. Ao examinar dados de fabricação, emplacamento e as emissões de CO₂ associadas a diferentes tipos de veículos, o estudo oferece uma compreensão aprofundada de como políticas públicas, como o PBEV, podem influenciar as escolhas dos consumidores e promover uma frota mais sustentável. Além disso, ao abordar os desafios e oportunidades enfrentados pelo Brasil, como a infraestrutura de recarga e os custos de aquisição dos veículos, a pesquisa contribui para o entendimento das barreiras que ainda limitam o crescimento da eletromobilidade e sugere caminhos para superá-las. Dessa forma, este trabalho visa apoiar a formulação de políticas públicas mais eficazes, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), e impulsionar o avanço da sustentabilidade ambiental no contexto da mobilidade urbana.

REVISÃO DA LITERATURA

ELETROMOBILIDADE E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

A eletromobilidade tem sido amplamente discutida conforme os autores Arowolo; Perez, (2023) Pinto-Bautista et al., (2024); IEA, (2024); Wewer; Bilge; Dietrich, (2021); Skrúcaný et al., (2019); Chudy; Mazurek (2019); Bouscayrol et al., (2019) e Zema; Sulich, Grzesiak, (2023) como uma das soluções mais promissoras para reduzir os impactos ambientais negativos causados pelo setor de transporte, um dos maiores responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa. No entanto, autores como Desai; Hittinger, Williams (2022) alertam que o impacto positivo da eletromobilidade pode ser limitado em países onde a matriz energética é predominantemente fóssil, o que ressalta a importância de uma transição energética simultânea.

Segundo o Global EV Outlook 2024 (IEA, 2024), os VE e VH apresentam uma redução significativa nas emissões de CO₂ quando comparados aos VCI. Estudos dos autores Pinto-Bautista et al., (2024); Wewer; Bilge; Dietrich, (2021); Skrúcaný et al., (2019) e Chudy; Mazurek, (2019) indicam que, mesmo considerando o ciclo de vida completo, que inclui a produção e o descarte das baterias, os VE e VH são significativamente mais sustentáveis, especialmente quando combinados com fontes de energia renovável.

Para que a eletromobilidade atinja seu ápice como instrumento de redução de emissão de CO₂, é crucial que a sua transição esteja alinhada com o uso de fontes de energia limpa. No Brasil, de acordo com a Agência Internacional de Energia (2024b) a matriz de geração elétrica é majoritariamente composta por fontes renováveis, com destaque para a hidroeletricidade, que responde por 60,18% da geração total é a principal fonte de geração de energia no Brasil, renovável e estável, com emissões praticamente nula, tornando-a uma das opções mais limpas e sustentáveis.

Quando consideradas outras fontes limpas, como biocombustíveis, solar e eólica, a geração de energia a partir dessas fontes ultrapassa 88,96%, refletindo um compromisso significativo do país com a sustentabilidade, como ilustrado na tabela 1 que oferece uma visão detalhada das principais fontes de energia e suas características em termos de renovabilidade, constância e a intensidade no impacto ambiental

Tabela 1: Matriz de Geração Elétrica por Fonte, Contribuição Percentual e Emissões de CO₂ no Brasil, 2023.

Fonte	Valor (GWh)	% Contribuição	Fonte	Emissões (Mt CO ₂)	Constância	Intensidade
Carvão	14.081	1,99%	N.R.	20,647	Est.	Alta
Petróleo	9.083	1,28%	N.R.	6,47	Est.	Alta
Gás natural	38.588	5,45%	N.R.	22,094	Est.	Moderada
Biocombustíveis	57.233	8,09%	R.	Nula	Var.	Baixa
Resíduos	1.138	0,16%	Var.	Nula	Var.	Alta
Nuclear	14.503	2,05%	N.R.	Nula	Est.	Baixa
Hidroeletricidade	425.996	60,18%	R.	Nula	Est.	Nula
Fotovoltaica	50.632	7,15%	R.	Nula	Var.	Baixa
Eólica	95.800	13,54%	R.	Nula	Var.	Baixa
Outras fontes	538	0,08%	Var.	Nula	Var.	Moderada

Nota: GWh: geração elétrica em gigawatt-hora; Mt CO₂: megatoneladas de dióxido de carbono; N.R: Não Renovável; R: renovável; Var: variável; Est: estável.

Fonte: (IEA 50, 2024b) Adaptado pelos autores.

Dentro das fontes não renováveis, o carvão, apesar de estável, é altamente poluente, com emissões de 20,647 Mt CO₂, representando 1,99% da geração total de eletricidade, sendo limitado por seu alto impacto ambiental. O petróleo, estável, contribui com 1,28% da matriz energética e emite 6,47 Mt CO₂, sendo uma fonte poluente, embora menos emissiva que o carvão. O gás natural, compõe 5,45% da matriz elétrica do país, emitindo 22,094 Mt CO₂, embora poluente, tem intensidade de emissões moderada e menor impacto ambiental comparado a carvão e petróleo, sendo uma opção estável para suprir demandas críticas.

Entre as fontes renováveis, destacam-se os biocombustíveis como uma alternativa sustentável, derivadas de biomassa, geram 8,09% da eletricidade no Brasil com baixa intensidade de emissões, já que o CO₂ emitido é reabsorvido pelas plantas, contudo, sua variabilidade sazonal pode comprometer a previsibilidade na geração de energia. A energia solar fotovoltaica e a eólica, com baixas emissões, compõem 7,15% e 13,54% da matriz energética, respectivamente, contudo, sua intermitência, causada pela dependência de fatores climáticos, limita a previsibilidade de sua geração. As "outras fontes", como geotérmica e biomassa, representam 0,08% da geração elétrica, apesar de moderada intensidade de emissões e variabilidade, contribuem para a diversidade da matriz energética e têm potencial de crescimento para maior sustentabilidade no futuro.

Outro índice apresentado pelo IEA (2024b) na Tabela 2 revela que o setor de transporte é o maior emissor com 212,576 Mt CO₂ (57,92% do total), emitindo 0,2 Mt CO₂ por veículo, com potencial médio de redução por eletrificação de VEs e uso de combustíveis alternativos em VHS, que apesar de um leve aumento nas emissões em relação à média anterior de 210,000 Mt CO₂, existe a necessidade urgente de sistemas mais sustentáveis.

A Tabela 2 oferece uma visão abrangente sobre as diferentes áreas de atividade e sua contribuição para as emissões totais de carbono.

Tabela 2: Emissões de CO₂ por Setor, Contribuição Percentual e Potencial de Redução no Brasil, 2022.

Setor	Valor (Mt CO ₂)	% Contribuição	Potencial de Redução	Média de Emissões Anteriores (Mt CO ₂)	Intensidade de Emissões
Produtores de eletricidade e calor	50,414	13,74%	Médio	49,000	0,15 Mt CO ₂ /MWh
Outras indústrias de energia	21,082	5,75%	Alto	22,000	N/A
Indústria	89,223	24,32%	Alto	85,000	1,2 Mt CO ₂ /tonelada
Transporte	212,576	57,92%	Médio	210,000	0,2 Mt CO ₂ /veículo
Residencial	18,031	4,91%	Baixo	17,000	0,01 Mt CO ₂ /pessoa
Serviços comerciais e públicos	2,46	0,67%	Médio	2,5	N/A
Agricultura	20,146	5,49%	Alto	19,000	0,5 Mt CO ₂ /hectare

Nota: Mt CO₂: megatoneladas de dióxido de carbono; Mt CO₂/hectare: quantidade de dióxido de carbono emitida por cada hectare de área usada; Mt CO₂/pessoa: quantidade média de emissões de dióxido de carbono atribuída a cada pessoa; Mt CO₂/veículo: quantidade média de dióxido de carbono emitida por cada veículo; Mt CO₂/MWh: quantidade de dióxido de carbono emitida para cada megawatt-hora de eletricidade gerada ou consumida; N/A: Não Aplicável.
Fonte: (IEA 50, 2024b) Adaptado pelos autores.

Os produtores de eletricidade e calor respondem por 13,74% das emissões, com 50,414 Mt CO₂ e uma intensidade de 0,15 Mt CO₂ por MWh. Embora o potencial de redução seja médio, o setor apresenta uma leve alta nas emissões, destacando a urgência de adotar tecnologias mais limpas e eficientes para maior sustentabilidade. As outras indústrias de energia representam 5,75% das emissões totais, com 21,082 Mt CO₂, e têm alto potencial de redução, já que a média anterior era de 22,000 Mt CO₂. A transição para tecnologias mais eficientes e fontes menos emissivas pode ampliar essa redução, embora a falta de dados sobre a intensidade de emissões limite análises detalhadas.

O setor industrial é responsável por 24,32% das emissões totais, com 89,223 Mt CO₂ e uma intensidade de 1,2 Mt CO₂ por tonelada de produto, apesar do alto potencial de redução por tecnologias como captura de carbono e otimização de processos, houve um leve aumento em relação à média anterior de 85,000 Mt CO₂, reforçando a necessidade de políticas e tecnologias de mitigação para reduzir o impacto ambiental.

O setor residencial contribui com 4,91% das emissões totais, somando 18,031 Mt CO₂, com emissões per capita de 0,01 Mt CO₂. Apesar do baixo potencial de redução, houve um leve aumento em relação aos 17,000 Mt CO₂ anteriores, possivelmente devido ao crescimento populacional e maior consumo de energia, reforçando a necessidade de promover eficiência energética para minimizar o impacto ambiental.

Os serviços comerciais e públicos representam 0,67% das emissões totais, com 2,46 Mt CO₂, mostrando estabilidade em relação à média anterior de 2,5 Mt CO₂, porém apesar do potencial médio de redução, faltam dados sobre a intensidade de emissões, para melhorias em eficiência energética que podem reduzir sua participação nas emissões e contribuir para uma gestão mais sustentável.

Por fim, o setor agrícola representa 5,49% das emissões de CO₂, totalizando 20,146 Mt CO₂, com uma intensidade de 0,5 Mt CO₂ por hectare, ligada ao uso de fertilizantes e à gestão do solo. Apesar do leve aumento em relação à média anterior de 19,000 Mt CO₂, o setor tem alto potencial de redução, reforçando a necessidade de práticas mais sustentáveis, como rotação de culturas e menor uso de fertilizantes sintéticos, para mitigar o impacto ambiental.

No estudo de Desai, Hittinger e Williams (2022), observa-se que o impacto ambiental positivo dos VE pode ser limitado em países cuja matriz energética ainda depende predominantemente de combustíveis fósseis, como carvão e gás natural, devido às emissões associadas à geração de eletricidade. Essa visão é corroborada por Stark et al. (2018) e Skrócaný et al. (2019), que também destacam a importância de uma matriz energética renovável para maximizar os benefícios ambientais dos VEs.

No México, Salgado-Conrado et al. (2024) ressaltam a necessidade de infraestrutura elétrica sustentável para que a adoção de EVs resulte em ganhos ambientais significativos. Além disso, Grea e Lehmann (2015) enfatizam que a combinação da eletromobilidade com fontes renováveis promove uma redução substancial nas emissões, fortalecendo a sustentabilidade e a independência energética regional. No caso do Brasil, onde a maior parte da eletricidade provém de hidrelétricas, o país possui uma vantagem estratégica para potencializar os benefícios ambientais da eletromobilidade, conforme destacado no relatório da IEA (2024).

A eletromobilidade, além de reduzir emissões de poluentes, oferece uma vantagem significativa na diminuição da poluição sonora urbana, promovendo uma melhora na qualidade de vida, especialmente em áreas metropolitanas densamente povoadas. Estudos, como os de Machado et al. (2020); Chudy e Mazurek (2019); Bouscayrol et al. (2019); Pietrzak e Pietrzak (2020); Stark et al. (2018); Broadbent et al. (2024) e Higuera-Castillo et al. (2019), confirmam que veículos elétricos, ao operarem com baixos níveis de ruído, representam uma solução ideal para mitigar o impacto ambiental do transporte nas cidades. Além disso, o uso de fontes renováveis para o carregamento desses veículos, como apontado por Schill e Gerbaulet (2015); Głodowska (2023); Burkert e Schmuelling (2019); Emodi et al. (2022); Bouscayrol et al. (2019); IEA Global EV Outlook (2024) e Skrócaný et al. (2019), potencializa ainda mais os benefícios ambientais da eletromobilidade, especialmente em países com matrizes energéticas limpas como o Brasil.

Por outro lado, os desafios relacionados à sustentabilidade da eletromobilidade vão além da emissão de poluentes e ruídos. Um aspecto crucial é o descarte e a reciclagem das baterias de veículos elétricos, que, apesar de possuírem uma vida útil prolongada, geram resíduos significativos ao final de seu ciclo. De acordo com Meyer et al. (2024) e Wewer et al. (2021), a reutilização das baterias em aplicações de segunda vida, como sistemas de armazenamento de energia, pode prolongar sua utilidade, mas a reciclagem eficiente ainda é fundamental para minimizar o impacto ambiental final. Dolganova et al. (2020) reforçam que tecnologias avançadas de recuperação de materiais são essenciais para uma estratégia sustentável de gerenciamento de resíduos de baterias. Nesse sentido, o relatório IEA (2024) destaca a

necessidade de políticas públicas que incentivem o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem e a criação de uma infraestrutura adequada de descarte para assegurar que a eletromobilidade permaneça uma solução sustentável a longo prazo.

Em síntese, a eletromobilidade oferece oportunidades significativas para a sustentabilidade ambiental, mas seu sucesso depende de uma abordagem integrada que envolva avanços tecnológicos, políticas públicas eficazes e uma matriz energética sustentável. A transição para a eletromobilidade só será plenamente eficaz se for acompanhada por investimentos em infraestrutura, incentivos para a adoção de veículos elétricos e híbridos, e uma mudança contínua para fontes de energia limpas e renováveis. Dessa forma, a eletromobilidade pode desempenhar um papel crucial na redução das emissões de CO₂ e no fortalecimento das metas de sustentabilidade a nível global.

POLÍTICAS PÚBLICAS

Estudos de Arowolo e Perez (2023) e SAE Brasil (2023) enfatizam a colaboração entre governos, empresas e consumidores para assegurar os benefícios ambientais da eletromobilidade, promovendo a adoção de VEs e VHs. Mpoi, Milioti e Mitropoulos (2023) e Burkert e Schmuelling (2019) reforçam que a expansão da infraestrutura de carregamento e incentivos financeiros são fundamentais em mercados emergentes para acelerar a transição para uma mobilidade mais sustentável e acessível.

De forma similar, IEA (2024), Salgado-Conrado et al. (2024) e Broadbent et al. (2024) destacam que subsídios e investimentos em infraestrutura, por meio de parcerias público-privadas e apoio governamental, são essenciais para a adoção de EVs em economias menos desenvolvidas. No Brasil, essas parcerias têm sido promovidas, mas especialistas apontam a necessidade de maior coordenação entre setores para fortalecer a infraestrutura e aumentar a aceitação de EVs entre os consumidores (IEA, 2024a).

No Brasil, políticas públicas como o Programa Rota 2030 (Lei nº 13.755/2018) estabelecem metas para reduzir emissões no setor de transporte, incentivando fabricantes a adotarem tecnologias sustentáveis com benefícios fiscais. As Medidas Provisórias nº 1.175 e nº 1.178 de 2023 reforçam esse compromisso, reduzindo tributos para veículos de baixa emissão e promovendo uma transição mais sustentável para a eletromobilidade (Brasil, 2018; 2023a; 2023b).

De acordo com a FENABRAVE (2023), isenções fiscais foram cruciais para o aumento das vendas de VEs e VHs no Brasil entre 2020 e 2023, tornando-os mais acessíveis e promovendo a transição para uma frota mais limpa alinhada às metas ambientais. Estudos de Schill e Gerbaulet (2015), Teoh et al. (2018), e Zema, Sulich e Grzesiak (2023) agregam que uma infraestrutura de recarga bem distribuída é essencial para atender às demandas dos usuários, reduzir os impactos na rede elétrica e maximizar os benefícios ambientais, e suas metas, especialmente quando integrada a fontes renováveis.

A eletromobilidade por intervenção de políticas públicas promovem benefícios ambientais, sociais e econômicos ao incentivar o uso de fontes de energia limpa, reduzir emissões poluentes e poluição sonora, além de fortalecer a infraestrutura urbana e a inovação tecnológica. Esses impactos positivos se alinham a seis ODS prioritários, incluindo ODS 3 - Saúde e Bem-Estar; ODS 7 - Energia Acessível e Limpa; ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura; ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis; ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis e ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima.

O Brasil, com uma matriz energética renovável, tem potencial para liderar a transição para uma mobilidade sustentável (IEA, 2024). O PBEV, criado pelo INMETRO (2023), promove conscientização pública e escolhas sustentáveis ao fornecer dados confiáveis sobre emissões veiculares. Conforme a FENABRAVE (2023), o programa expandiu para incluir VEs e VHs, impulsionando a eletromobilidade e destacando esses veículos como opções eficientes e de baixo impacto ambiental. Contudo, sua eficácia depende da integração com políticas públicas e da conscientização dos consumidores sobre os benefícios dos veículos sustentáveis (INMETRO, 2023; FENABRAVE, 2023).

METODOLOGIA

Este estudo busca compreender como a etiquetagem veicular, representada pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), pode influenciar a transição para a eletromobilidade, promover uma redução significativa das emissões de CO₂ e contribuir para a sustentabilidade. Para alcançar esse objetivo, foi adotada uma análise comparativa entre três bases de dados principais, analisando o comportamento dos veículos fabricados, licenciados e etiquetados no Brasil. Esta abordagem abrangente é necessária para identificar se a etiquetagem veicular está cumprindo seu papel na transição para tecnologias mais limpas, como veículos eletrificados, e contribuindo para o alcance da sustentabilidade no setor automotivo.

FONTES DE DADOS

O Anuário Digital da ANFAVEA (2024) fornece dados abrangentes sobre a fabricação e exportação de veículos no Brasil, incluindo diferentes tipos de propulsão. O Anuário da FENABRAVE (2008–2023) apresenta informações sobre veículos emplacados e tipos de combustível, permitindo analisar mudanças nas preferências de consumo, como o aumento de veículos eletrificados. Já o PBEV (2024) oferece dados sobre emissões de CO₂, fundamentais para avaliar a sustentabilidade e o impacto ambiental.

A integração dessas fontes proporciona uma base diversificada para analisar tendências e a transição para combustíveis mais limpos no setor automotivo. As principais fontes de dados utilizadas neste estudo estão organizadas no Quadro 1. Cada fonte foi escolhida por sua relevância e confiabilidade, assegurando a precisão das informações e permitindo uma análise detalhada das tendências do mercado automotivo no Brasil.

Quadro 1: Fontes de Dados Utilizadas na Análise do Mercado Automotivo Brasileiro.

Fonte de Dados	Descrição	Instituição Responsável	Relevância para o Estudo
Anuário Digital ANFAVEA - 2024	Contém dados sobre a fabricação de veículos no Brasil	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA)	Essencial para entender a evolução da fabricação dos veículos no Brasil.
Anuário FENABRAVE - 2008 a 2023	Fornecer informações detalhadas sobre o mercado de emplacamento de veículos no país	Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE)	Permite analisar mudanças no licenciamento e a participação de diferentes tipos de combustível.
Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) - 2024	Oferece dados sobre consumo de combustível e emissões de CO ₂ para diferentes veículos, com foco em sustentabilidade.	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO)	Fundamental para avaliar o impacto ambiental dos veículos, analisando a transição para tecnologias mais sustentáveis e a redução de emissões de CO ₂ .

Fonte: Adaptado pelos autores.

REPLICABILIDADE DO ESTUDO

Para a replicabilidade do estudo, a metodologia foi estruturada para ser aplicada por outros pesquisadores, tanto em contextos geográficos ou períodos distintos conforme o quadro 2.

Quadro 2: Passos para replicabilidade do estudo.

Item	Descrição	Detalhes
1.	Coleta	Obter dados de fabricação, licenciamento de veículos e emissão de poluentes de uma fonte confiável para o país e período de interesse.
2.	Estruturação	Organizar os dados em colunas no Excel. Vide tabelas 3 e 5.
3.	Equação 1	Calcular a taxa de crescimento percentual entre anos consecutivos para cada tipo de combustível, com resultados nas tabelas 3 e 5. Fórmula no Excel: $= ((B3 - B2) / B2) * 100$, onde B3 é o valor do ano atual e B2 o do ano anterior.
4.	Equação 2	Calcular a média das taxas de crescimento anual para cada tipo de combustível, proporcionando uma visão geral da tendência de longo prazo, resultado tabelas 4 e 6. No Excel, usar a função MÉDIA nas células com as taxas de crescimento anual: Essa média reflete a taxa constante que descreve a tendência ao longo do período analisado.
5.	Equação 3	Calcular a emissão total anual de um poluente para cada tipo de combustível. No Excel aplicar $= (\text{Emissão média poluente} * \text{quilometragem ano veículo} * \text{número de veículos emplacado}) / \text{Verificar nota da equação 3}$.
6.	Equação 4	Calcular a emissão total acumulada de poluentes, considerando que cada veículo permanece em circulação e continua emitindo poluentes.
7.	Avaliação	Comparar o crescimento e declínio de veículos, para entender a transição para fontes de energia mais sustentáveis e o impacto potencial da eletromobilidade.

Fonte: Adaptado pelos autores.

MÉTODO E CONCEITO DE ANÁLISE

A Equação 1, sobre a taxa de crescimento percentual anual, foi utilizada para medir o aumento ou diminuição no número de veículos fabricados ou licenciados (por combustível) de um ano para o outro, fornecendo uma projeção clara das flutuações anuais. Essa métrica permite

identificar anos específicos com crescimento ou declínio acentuado e analisar a variação ao longo do tempo para cada tipo de combustível.

Equação 1:

$$\text{Taxa de Crescimento} = \left(\frac{\text{Valor ano estudado} - \text{Valor ano anterior}}{\text{Valor ano anterior}} \right) \times 100$$

Nota: A taxa de crescimento representa a variação percentual entre dois períodos consecutivos. Um valor positivo indica aumento em relação ao ano anterior, enquanto um valor negativo indica diminuição. Fonte: Adaptado pelos autores.

A Equação 2, sobre a taxa média de crescimento anual, calcula a média das taxas de crescimento registradas no período estudado, permitindo observar a tendência média dos veículos fabricados ou licenciados. Esta métrica ajuda a suavizar as flutuações anuais, fornecendo uma visão geral do comportamento de crescimento ou declínio ao longo do tempo.

Equação 2:

$$\text{Taxa Média de Crescimento Anual} = \frac{\sum(\text{Taxas de Crescimento Anuais})}{\text{Número de Anos}}$$

Nota: A taxa média de crescimento anual representa a média aritmética das taxas de crescimento registradas ao longo dos anos e fornece uma visão geral da tendência média no período estudado. Fonte: Adaptado pelos autores.

A Equação 3, calcula a emissão total anual de um poluente específico para uma frota de veículos, permitindo estimar a quantidade total de poluentes emitidos por uma categoria de veículos ao longo do tempo. O cálculo considera a média de emissão por quilômetro, a distância anual percorrida por veículo e o número total de veículos em circulação no período.

Equação 3:

$$\text{Emissão total anual} = \frac{\text{Valor de emissão} \times \text{Distância anual} \times \text{Número de veículos}}{1000000 \text{ ou } 1000}$$

Nota: Se a unidade de "Valor de emissão" estiver em unidade de miligramas mg/km, para converter o resultado para quilogramas (kg), divida o valor obtido por 1.000.000. Caso o valor de emissão esteja em unidade gramas g/km, divida por 1.000 para obter o resultado em quilograma (kg). A conversão de unidades é feita para facilitar a interpretação dos resultados. Fonte: Adaptado pelos autores.

A Equação 4, calcula a emissão total acumulada de um poluente específico para todos os veículos emplacados desde o ano inicial até o ano final de interesse. Essa métrica permite estimar a quantidade total de poluentes emitidos ao longo do tempo, considerando que os veículos permanecem em circulação e continuam a emitir anualmente.

Equação 4:

$$E_{\text{acumulado, ano final}} = \sum_{t=\text{ano inicial}}^{\text{ano final}} (\text{Emissão}_t \times \max(1, \text{ano final} - t))$$

Nota: A expressão $E_{\text{acumulado, ano final}}$ representa a emissão total acumulada de um poluente específico até o ano final para todos os veículos emplacados desde o ano inicial. A expressão $\sum_{t=\text{ano inicial}}^{\text{ano final}}$: Indica a soma das emissões de todos os anos entre o ano inicial e o ano final. A expressão Emissão_t representa a emissão total de um poluente específico para os veículos emplacados no ano t , calculada previamente usando a Equação 3. A expressão ano final é o ano até o qual se deseja calcular a emissão acumulada (por exemplo, 2023). A expressão $\max(1, \text{ano final} - t)$: garante que cada ano de emplacamento seja contabilizado corretamente. Fonte: Adaptado pelos autores.

RESULTADOS

ANFAVEA

É importante destacar que o termo "veículo eletrificado" utilizado no país abrange todos os veículos que possuem um motor elétrico, acoplado a um segundo motor, como ocorre nos híbridos e nos veículos totalmente elétricos, como ilustrado no Quadro 3, que apresenta as diferenças operacionais entre veículos elétricos, híbridos e híbridos plug-in.

Quadro 3: Diferenças operacionais entre Veículos Elétricos, Híbridos e Híbridos Plug-in.

Tipo de Veículo	Motor Elétrico	Motor a Combustão	Recarregamento
Elétrico (VE)	Sim	Não	Sim
Híbrido (VH)	Sim (1º motor)	Sim (2º motor) (Gasolina / Flex / Diesel)	Não
Híbrido Plug-in (PHEV)	Sim (1º motor)	Sim (2º motor) (Gasolina)	Sim

Fonte: Adaptado pelos autores.

A Tabela 3 apresenta a evolução anual da fabricação de veículos no Brasil, segmentada pelo tipo de combustível utilizado, desde 2005, início da série de fabricação eletrificada, até 2023. Nela estão descritos os valores absolutos de produção anual, em unidades, e a Taxa de Crescimento Percentual (TC%) em relação ao ano anterior.

Tabela 3: Evolução Anual e Taxa de Crescimento Percentual dos Veículos fabricado por Tipo de Combustível no período de 2005 a 2023.

Ano	Gasolina		FLEX		ELETRIFICADO		DIESEL	
	ANFAVEA	TC (%)	ANFAVEA	TC (%)	ANFAVEA	TC (%)	ANFAVEA	TC (%)
2005	697,006		812,104		16		173,156	
2006	316,559	-55	1,430,334	76	7	-56	178,972	3
2007	245,651	-22	2,003,080	40	5	-29	213,868	19
2008	217,016	-12	2,329,251	16	10	100	273,993	28
2009	221,688	2	2,652,298	14	34	240	267,141	-3
2010	280,677	27	2,876,173	8	32	-6	358,126	34
2011	376,804	34	2,848,071	-1	203	534	408,112	14
2012	273,915	-27	3,162,822	11	211	4	365,069	-11
2013	189,109	-31	3,169,080	0	610	189	408,534	12
2014	184,841	-2	2,940,494	-7	855	40	371,804	-9
2015	136,150	-26	2,194,004	-25	859	0	237,945	-36
2016	80,495	-41	1,750,732	-20	1,107	29	217,965	-8
2017	68,905	-14	1,927,191	10	3,298	198	240,258	10
2018	81,950	19	2,168,152	13	3,977	21	312,323	30
2019	73,871	-10	2,328,621	7	11,924	200	373,394	20
2020	58,939	-20	1,664,978	-28	19,786	66	314,668	-16
2021	53,597	-9	1,624,322	-2	35,303	78	406,509	29
2022	48,838	-9	1,633,247	1	50,010	42	371,974	-8
2023	60,602	24	1,809,830	11	94,376	89	343,698	-8

Nota: TC significa Taxa de Crescimento Percentual (%).

Fonte: ANFEAVA (2024). Adaptado pelos autores.

A Tabela 4 apresenta a Taxa Média de Crescimento Anual (TMA) dos veículos fabricados no Brasil, segmentada por tipos de combustível: Gasolina, Flex, Eletrificado e Diesel. A TMA indica

a tendência média de crescimento ou declínio durante o período analisado, oferecendo uma visão clara das preferências dos consumidores e dos impactos de políticas ambientais e incentivos econômicos voltados para combustíveis alternativos. Esses dados ajudam a entender as tendências predominantes na produção de veículos no país.

Tabela 4: Taxa Média de Crescimento Anual (TMA) dos Veículos fabricado por Tipo de Combustível.

Combustível	TMA (%)	Interpretação
Gasolina	-9.6	Declínio médio anual, indicando redução de veículos a gasolina ao longo do tempo
Flex	6.8	Crescimento moderado, refletindo aumento de popularidade dos veículos flex.
Eletrificado	96.6	Crescimento acentuado, sugerindo rápida adoção de veículos eletrificados
Diesel	5.6	Crescimento estável, indicando aumento gradual de veículos a diesel

Nota: TMA significa Taxa Média de Crescimento Anual.

Fonte: Adaptado pelos autores

FENABRAVE

A Tabela 5 apresenta os dados anuais de emplacamento de veículos no Brasil, categorizados por tipo de combustível e combinações, no período de 2008 a 2023. Esses dados fornecem uma visão abrangente sobre a evolução do mercado automotivo e as preferências de consumo em relação a diferentes combustíveis e tecnologias híbridas ao longo do período analisado.

Tabela 5: Emplacamentos Anuais de Veículos no Brasil por Tipo de Combustível e Combinações (2008-2023).

Ano	FLEX	GAS	DIESEL	ELÉTRICO	HÍBRIDO	GAS/E	FLEX/E	FLEX/GNV
2008	2,058,364	122,067						8,877
2009	2,359,171	115,624						4,350
2010	2,505,667	140,834						5,178
2011	2,443,721	198,022						3,995
2012	2,703,770	134,666						3,268
2013	2,643,769	104,715						6,057
2014	2,584,771	180,173						4,133
2015	1,956,984	133,396						3,000
2016	1,572,526	79,214						34,892
2017	1,738,478	67,927						46,116
2018	1,969,586	81,250						46,996
2019	2,123,658	52,936						73,267
2020	1,490,357	58,143	47,416			9,328	9,610	
2021	1,411,478	51,846	59,838	2,612	31,945			
2022	1,438,745	43,964	45,852	7,163		14,822	23,573	
2023	1,544,921	48,041	34,981	18,496	74,347			
Total	32,545,966	1,612,818	188,087	28,271	106,292	24,150	33,183	240,129

Nota: Flex: Veículos que podem operar com gasolina ou álcool (etanol). GAS: Gasolina. GAS/E: Veículos híbridos que combinam um motor a combustão movido a gasolina com um motor elétrico. FLEX/E: Veículos híbridos que podem operar com gasolina, álcool (etanol) e ou eletricidade. Flex/GNV: Veículos bicompostíveis que operam com gasolina ou álcool (etanol) e que também são adaptados para o uso de gás natural veicular (GNV).

Fonte: Fenabreve (2008 a 2023) Adaptado pelos autores.

Os dados mostram uma transição gradual para tecnologias mais limpas, com crescimento de veículos elétricos e híbridos e queda na demanda por veículos a gasolina ou diesel. Contudo, os veículos Flex ainda predominam no mercado, indicando que a transição para uma frota de

baixa emissão enfrentará desafios, especialmente relacionados à infraestrutura e ao custo dos veículos eletrificados no Brasil.

A Tabela 6 apresenta a evolução anual e a taxa de crescimento percentual (TC) dos veículos emplacados no Brasil entre 2008 e 2023, categorizados por tipo de combustível.

Tabela 6: Evolução Anual e Taxa de Crescimento Percentual dos Veículos emplacado por Tipo de Combustível.

Ano	FLEX	TC (%)	GASOLINA	TC (%)	DIESEL	TC (%)	ELÉTRICO	TC (%)	HÍBRIDO	TC (%)
2008	2,067,241		122,067							
2009	2,363,521	14	115,624	-5						
2010	2,510,845	6	140,834	22						
2011	2,447,716	-3	198,022	41						
2012	2,707,038	11	134,666	-32						
2013	2,649,826	-2	104,715	-22						
2014	2,588,904	-2	180,173	72						
2015	1,959,984	-24	133,396	-26						
2016	1,607,418	-18	79,214	-41						
2017	1,784,594	11	67,927	-14						
2018	2,016,582	13	81,250	20						
2019	2,196,925	9	52,936	-35						
2020	1,490,357	-32	58,143	10	47,416				18,938	
2021	1,411,478	-5	51,846	-11	59,838	26	2,612		31,945	69
2022	1,438,745	2	43,964	-15	45,852	-23	7,163	174	38,395	20
2023	1,544,921	7	48,041	9	34,981	-24	18,496	158	74,347	94
Total	32,786,095		1,612,818		188,087		28,271		163,625	

Nota: TC significa Taxa de Crescimento Percentual (%).

Fonte: Fenabreve (2024) Adaptado pelos autores.

A análise na tabela 6 considera a união de categorias conforme o Quadro 3, priorizando o (1º motor) e o mais poluidor, a exemplos do Flex e Flex/GNV e ou híbridos Gas/E e Flex/E. Esse agrupamento facilita a identificação de tendências de mercado e do impacto ambiental das diferentes tecnologias de combustível ao longo do período analisado.

A Tabela 7 apresenta a Taxa Média de Crescimento Anual (TMA) dos veículos emplacados no Brasil, segmentada por tipo de combustível. Essa métrica mostra a variação média anual destacando tendências de crescimento ou declínio ao longo do período analisado

Tabela 7: Taxa Média de Crescimento Anual (TMA) dos Veículos emplacado por Tipo de Combustível.

Combustível	TMA (%)	Interpretação
Gasolina	-2	Declínio leve, indicando perda de popularidade.
Flex	-1	Queda leve, embora ainda popular no mercado.
Híbrido	61	Crescimento rápido, mostrando aceitação crescente.
Elétrico	166	Expansão acelerada, refletindo grande demanda.
Diesel	-7	Declínio notável, refletindo diminuição da demanda.

Nota: TMA significa Taxa Média de Crescimento Anual.

Fonte: Adaptado pelos autores.

A TMA identifica padrões no mercado automotivo, evidenciando o impacto das preferências de consumo e das políticas públicas na adoção de diferentes tecnologias de combustível.

PBEV

A Tabela 8 evidencia a diversidade de opções disponíveis para o consumidor e a crescente presença de tecnologias híbridas e elétricas no mercado brasileiro.

Tabela 8: Modelos de Veículos por Marca e Tipo de Combustível (Combustão, Elétrico, Híbrido e Plug-in.

Empresas	Combustão			Elétrico	Híbrido		Híbrido Plug-in	
	Flex	Gasolina	Diesel	Elétrico	Flex	Gasolina	Diesel	Gasolina
AUDI		22		7		15		4
BMW	8	23		12		3		9
BYD				13				6
CAOA CHERY	8	2		1	10			1
CHEVROLET	54	6	20	4				
CITROEN	20		18	1				
DONFENG				1				
FERRARI		2						2
FIAT	39		20	2				
FORD		9	10	4		1		
GWM				2		2		4
HONDA	14	2				3		
Hyundai	42	3	1	1		3		
JAC			4	6				
JAGUAR	2	5		4				2
JEEP	13	7	6					2
KIA		3	2	2		12		
LAMBORGHINI		3						
LAND ROVER	6					4	49	32
LEXUS						7		
MASERATI						2		
MCLAREN								1
Mercedes-Benz		16	4	13		20	2	3
MINI		4		1				1
Mitsubishi		5	15					
NETA				5				
Nissan	8	3	6	2				
PEUGEOT	15	2	18	3				
PORSCHE		40		17				13
RAM		11						
Renault	32		4	5				
SUBARU						2		
SUZUKI		6						
TOYOTA	18	2	13		6	3		1
VOLVO				34				40
VW	31	2	6	2				
ZEEKR				4		15		4
Total	310	178	147	146	16	77	51	121

Fonte: ANFEAVA (2024). Adaptado pelos autores.

As opções refletem uma transição de menor impacto ambiental e maior eficiência energética.

O PBEV desempenha um papel essencial ao fornecer informações acessíveis e padronizadas, ajudando os consumidores a identificarem veículos mais eficientes e menos poluentes. Essa iniciativa promove escolhas mais conscientes e sustentáveis, contribuindo para a sustentabilidade no setor automotivo e para a transição para uma frota mais limpa e eficiente.

A Tabela 9, apresenta a média das emissões de diferentes poluentes para veículos com diferentes tipos de propulsão e combustível. Esse conjunto de dados oferece uma visão comparativa das emissões de poluentes como NMOG+Nox, CO, CHO, além dos gases de efeito estufa CO₂.

Tabela 9: Média de Emissões Veiculares por Poluentes e Tipo de Propulsão

Propulsão	Combustível	NMOG+Nox (mg/km)	CO (mg/km)	CHO (mg/km)	CO ₂ (g/km)
Combustão		51.47	189.36	2.37	143.93
	Diesel	119.54	42.03	0.80	198.77
	Flex	36.82	263.51	3.06	108.69
	Gasolina	20.78	181.88	1.31	160.02
Elétrico	Elétrico	0.00	0.00	0.00	0.00
Híbrido		28.70	121.94	1.29	146.44
	Diesel	37.78	57.16	0.00	192.45
	Flex	40.63	218.75	1.81	101.19
	Gasolina	20.21	144.74	1.22	125.38
Plug-in	Gasolina	7.49	63.79	0.60	95.02

Nota: NMOG+Nox (compostos orgânicos não metânicos + óxidos de nitrogênio), CO (monóxido de carbono), CHO (hidrocarbonetos orgânicos), além dos gases de efeito estufa CO₂.
 Fonte: PBEV (2024) Adaptado pelos autores.

Esses dados ilustram a variação nas emissões entre diferentes tipos de propulsão e combustível, destacando as vantagens dos veículos elétricos e plug-in em termos de emissões zero ou reduzidas.

A Tabela 10 observa-se uma redução significativa dentro do período nas emissões de todos os poluentes, com (TMA) de -36%, mesmo tendo crescimento por veículo de (TMA) de 1%.

Tabela 10: Emissões e Taxa Média Anual de Poluentes para Veículos a Combustão Flex (2020-2023).

Ano	Veículos	Emissões de Poluentes e Variação Anual do período					
		NMOG+Nox (kg/km)	CO (kg/km)	CHO (kg/km)	CO ₂ (T/km)	TC% p	TC% v
2020	1,490,357	3,292,497	23,563,438	273,630	9,719,214		
2021	1,411,478	2,338,678	16,737,236	194,361	6,903,609	-29	-5.29
2022	1,438,745	1,589,238	11,373,711	132,077	4,691,316	-32	1.93
2023	1,544,921	853,260	6,106,532	70,912	2,518,762	-46	7.38
Total	5,885,501						
Totala		8,073,672	57,780,917	670,979	23,832,901		
TMA						-36	1

Nota: TMA: Taxa Média de Crescimento Anual do período. TC% p: Taxa de Crescimento Percentual (%) ao ano de poluentes. TC% v: Taxa de Crescimento Percentual (%) ao ano de veículos.
 Fonte: PBEV (2024) Adaptado pelos autores.

A Tabela 11 detalha as emissões de poluentes e a taxa de crescimento anual para veículos a combustão Diesel de 2020 a 2023, a qual observa-se uma redução contínua nas emissões anuais de todos os poluentes durante o período, com destaque para o dióxido de carbono

(CO₂), que apresenta uma taxa média de crescimento anual (TMA) em declínio de -39%, mesmo também tendo declínio na (TMA) de veículos de -7%. As emissões de NMOG+Nox, CO e CHO também diminuíram de forma significativa, como indicado pelas taxas de crescimento anual (TC%) e o total acumulado ao final de 2023 revela a contribuição substancial dos veículos a diesel para as emissões no período analisado de 1,478,440 CO₂ (T/km).

Tabela 11: Emissões e Taxa Média Anual de Poluentes para Veículos a Combustão Diesel (2020-2023).

Ano	Veículos	Emissões de Poluentes e Variação Anual do período					
		NMOG+Nox (kg/km)	CO (kg/km)	CHO (kg/km)	CO ₂ (T/km)	TC% p	TC% v
2020	47,416	340,087	119,574	2,276	565,493		
2021	59,838	321,887	113,175	2,154	535,230	-5	26
2022	45,852	164,434	57,815	1,100	273,420	-49	-23
2023	34,981	62,724	22,054	420	104,298	-62	-24
Total	188,087						
Totala		889,132	312,617	5,950	1,478,440		
TMA						-39	-7

Nota: TMA: Taxa Média de Crescimento Anual do período. TC% p: Taxa de Crescimento Percentual (%) ao ano de poluentes. TC% v: Taxa de Crescimento Percentual (%) ao ano de veículos.
 Fonte: PBEV (2024) Adaptado pelos autores.

A Tabela 12 apresenta as emissões de poluentes e a taxa de crescimento anual para veículos a combustão movidos a gasolina no período de 2020 a 2023. Durante esse intervalo, as emissões anuais de NMOG+Nox, CO, CHO e CO₂ mostraram uma redução significativa, com uma taxa média de crescimento anual (TMA) de -41% para o dióxido de carbono (CO₂), mesmo com a queda de veículos de (TMA) de -6%. Essa redução nas emissões indica avanços na eficiência dos veículos a combustão, possivelmente impulsionados por melhorias tecnológicas e por regulamentações mais rigorosas sobre emissões.

Tabela 12: Emissões e Taxa Média Anual de Poluentes para Veículos a Combustão Gasolina (2020-2023).

Ano	Veículos	Emissões de Poluentes e Variação Anual do período					
		NMOG+Nox (kg/km)	CO (kg/km)	CHO (kg/km)	CO ₂ (T/km)	TC% p	TC% v
2020	58,143	72,493	634,503	4,570	558,243		
2021	51,846	48,481	424,339	3,056	373,338	-33	-11
2022	43,964	27,407	239,885	1,728	211,054	-43	-15
2023	48,041	14,974	131,065	944	115,313	-45	9
Total	201,994						
Totala		163,355	1,429,792	10,298	1,257,947		
TMA						-41	-6

Nota: TMA: Taxa Média de Crescimento Anual do período. TC% p: Taxa de Crescimento Percentual (%) ao ano de poluentes. TC% v: Taxa de Crescimento Percentual (%) ao ano de veículos.
 Fonte: PBEV (2024) Adaptado pelos autores.

Os dados de VEs mostram um crescimento expressivo no Brasil, com 2.612 unidades em 2020, 7.163 em 2021, 18.496 em 2022 e 28.271 em 2023. As TMAs de 174%, 158% e 53% evidenciam o rápido aumento na adoção de VE durante esse período, além de não possuírem índice de poluentes, pois não emitem poluentes diretamente durante a operação, ao contrário dos veículos a combustão, que liberam CO₂ e outros gases poluentes. Essa característica

classifica os VEs como uma tecnologia de baixa emissão, contribuindo para a redução da poluição atmosférica e das emissões de gases de efeito estufa no setor de transporte.

A Tabela 13 apresenta as emissões de poluentes e a taxa de crescimento anual para veículos híbridos de 2020 a 2023. Ao contrário dos veículos exclusivamente a combustão, os veículos híbridos mostram uma variação mais moderada nas emissões, com uma taxa média de crescimento anual (TMA) de 1% para o dióxido de carbono (CO₂), indicando uma ligeira tendência de aumento. Isso ocorre mesmo com uma significativa TMA de 61% para os emplacamentos de veículos híbridos, refletindo o crescimento acelerado dessa tecnologia, embora as emissões ainda apresentem um leve aumento em comparação aos anos anteriores.

Tabela 13: Emissões e Taxa Média Anual de Poluentes para Veículos a Combustão Híbridos (2020-2023).

Ano	Veículos	Emissões de Poluentes e Variação Anual do período					
		NMOG+Nox (kg/km)	CO (kg/km)	CHO (kg/km)	CO ₂ (T/km)	TC% p	TC% v
2020	18,938	32,611	138,558	1,466	166,397		
2021	31,945	41,257	175,292	1,854	210,511	27	69
2022	38,395	33,058	140,457	1,486	168,677	-20	20
2023	74,347	32,006	135,988	1,439	163,311	-3	94
Total	163,625						
Totala		138,933	590,294	6,245	708,896		
TMA						1	61

Nota: TMA: Taxa Média de Crescimento Anual do período. TC% p: Taxa de Crescimento Percentual (%) ao ano de poluentes. TC% v: Taxa de Crescimento Percentual (%) ao ano de veículos.
 Fonte: PBEV (2024) Adaptado pelos autores.

A Tabela 14 compara as taxas de crescimento de poluentes TC (%) p e de veículos TC (%) v entre 2020 e 2023 para diferentes tipos de combustível, oferecendo uma visão clara da mudança nas preferências de consumo e no impacto ambiental do setor automotivo no Brasil.

Tabela 14: Comparativo entre Taxa de Crescimento de 2020 a 2023 entre Poluentes e Veículos por Tipo de Combustível.

Combustível	TC (%) p	TC (%) v	Interpretação
Flex	-36	1	Sugere uma preferência moderada devido à flexibilidade no uso de combustíveis, mas ainda distante de uma escolha totalmente sustentável.
Diesel	-39	-7	Indica uma diminuição gradual na demanda, refletindo o começo de uma transição para alternativas menos poluentes.
Gasolina	-41	-6	Evidencia uma substituição progressiva desses veículos por modelos de menor impacto ambiental, alinhada à busca por opções mais sustentáveis.
Híbrido	1	61	Reflete uma preferência crescente por veículos híbridos, indicando uma transição para tecnologias de menor emissão.
Elétrico	0	128	Reforça uma clara transição para a eletromobidade e uma preferência crescente por veículos totalmente sustentáveis, alinhados com a redução das emissões.

Nota: TC % p: Taxa de Crescimento Percentual (%) ao período de poluentes. TC % v: Taxa de Crescimento Percentual (%) ao período de veículos.
 Fonte: Adaptado pelos autores.

Esses dados sugerem uma transição gradual no mercado automotivo, com crescimento expressivo de veículos híbridos e elétricos, ao mesmo tempo que há uma diminuição da

demanda por veículos a gasolina e diesel. Esse movimento reflete uma mudança nas preferências dos consumidores em direção a tecnologias mais sustentáveis, impulsionada por fatores como incentivos governamentais, maior conscientização ambiental e avanços tecnológicos que tornam essas opções mais acessíveis e eficientes.

CONCLUSÃO

Os dados apresentados neste estudo refletem a transição do setor automotivo brasileiro em direção a tecnologias mais sustentáveis, destacando o crescimento expressivo dos veículos eletrificados. A indústria automotiva apresenta uma tendência de declínio para veículos a gasolina (-9,6%) e um aumento considerável para veículos eletrificados (96,6%), indicando uma mudança estrutural em que as tecnologias verdes ganham espaço, enquanto a gasolina perde popularidade.

Esse movimento é corroborado pelas taxas médias de crescimento anual (TMA), que mostram um crescimento de 166% para os veículos elétricos e 61% para os híbridos, sinalizando a aceitação crescente dos consumidores. Por outro lado, veículos a gasolina e diesel apresentam TMAs negativas (-2% e -7%, respectivamente), refletindo a diminuição de sua demanda.

Do ponto de vista tecnológico, a diversificação das ofertas das montadoras, com a expansão dos modelos híbridos e elétricos, mostra que as empresas estão se alinhando à tendência global de descarbonização, reforçando seu compromisso com a eletromobilidade. Embora a combustão interna ainda seja predominante em número de modelos, o aumento da oferta de veículos eletrificados demonstra um movimento claro em direção à sustentabilidade.

Em relação às emissões, os veículos elétricos se destacam pela ausência de poluentes, enquanto os híbridos e plug-in apresentam uma redução significativa das emissões em comparação com os veículos a combustão, que, especialmente os a diesel, continuam a apresentar as maiores emissões de CO₂.

Este estudo confirma que o Brasil está avançando para a eletromobilidade, com um aumento substancial na demanda por veículos eletrificados. A análise das taxas de crescimento de produção e emplacamento, juntamente com a distribuição dos modelos e as médias de emissões, indica que tanto o mercado quanto a indústria automotiva estão se adaptando a alternativas mais sustentáveis. Para acelerar essa transição, a implementação de políticas públicas é essencial.

Incentivos fiscais para veículos elétricos e híbridos, a expansão da infraestrutura de recarga e a adoção de políticas para reciclagem de baterias são fundamentais para maximizar os benefícios ambientais e econômicos da eletromobilidade. O Brasil possui uma oportunidade única para liderar a transição para um setor de transporte mais verde, alinhando-se com as metas globais de sustentabilidade e contribuindo para a redução das emissões no setor de transporte.

SÍNTESE DOS ACHADOS

Tendências de Produção: A produção de veículos a gasolina diminuiu, enquanto os veículos eletrificados mostram um crescimento significativo, refletindo uma adaptação gradual da indústria automotiva às novas demandas de sustentabilidade.

Sustentabilidade: A média da Taxa Média de Crescimento Anual (TMA) para os combustíveis listados é de aproximadamente 24,85%. Isso indica que, no geral, os ganhos acumulados (principalmente impulsionados pela categoria Eletrificado) compensaram as perdas observadas na categoria de Gasolina. Portanto, mesmo com a TMA negativa de veículos a gasolina, o crescimento em outras categorias resultou em uma média positiva.

Contribuição para os ODS: A eletromobilidade contribui para vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente em áreas de saúde, energia limpa, inovação, cidades sustentáveis e ação climática.

Adoção de Tecnologias Verdes: A indústria automotiva já oferece uma quantidade significativa de modelos eletrificados, com 146 modelos totalmente elétricos e um número expressivo de híbridos (77 movidos a gasolina e 16 Flex) e híbridos plug-in (121 modelos). Essa disponibilidade mostra um avanço na oferta de veículos mais sustentáveis, ainda que, em termos absolutos, a quantidade de veículos a combustão ainda seja maior.

Marcas com Foco em Eletrificação: Algumas marcas, como Volvo, BMW, Porsche, Lexus e BYD, apresentam uma maior variedade de modelos elétricos e híbridos, indicando um compromisso mais forte com a eletrificação e a sustentabilidade. A Volvo, por exemplo, oferece 34 modelos elétricos e 40 híbridos plug-in, destacando-se como uma marca com uma linha fortemente orientada para o mercado de baixo impacto ambiental.

Marcas com Foco em Híbridos: algumas montadoras, como Toyota, Audi, Mercedes-Benz e Kia, estão apostando em uma abordagem híbrida, oferecendo veículos que combinam motores a combustão e elétricos. Essa estratégia sugere uma transição gradual para a eletrificação, permitindo que os consumidores adotem tecnologias de menor emissão sem depender exclusivamente de infraestrutura de recarga.

Tendências de demanda: A TMA elevada para veículos elétricos e híbridos indica uma mudança nas preferências dos consumidores para tecnologias de menor impacto ambiental e ou financeiro, isso se traduzindo nos números de fabricação e emplacamento de veículos como um todo.

RECOMENDAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

Expansão e Fortalecimento do PBEV: Tornar obrigatória a etiquetagem veicular para todos os veículos, incluindo os de menor porte, ampliando a conscientização pública e garantindo que todos os consumidores tenham acesso a informações claras sobre as emissões de cada modelo.

Incentivos Fiscais para Veículos de Baixa Emissão: Implementar e ampliar incentivos fiscais para veículos com baixas emissões de CO₂, com base nas classificações do PBEV, favorecendo especialmente a aquisição de veículos híbridos e elétricos de emissão quase zero a nula.

Incentivos para Serviços de Transporte Sustentável: Para serviços privados de mobilidade, como Uber e outras plataformas de transporte por aplicativo, implementar benefícios fiscais, subsídios ou isenções de taxas para motoristas que utilizem veículos de baixa emissão. Esses incentivos podem ser estendidos aos taxis e passageiros, oferecendo tarifas com desconto para viagens realizadas em veículos híbridos ou elétricos.

Reciclagem de Baterias: Implementar políticas de reciclagem e reutilização de baterias de veículos elétricos para reduzir o impacto ambiental e fomentar uma economia circular.

Desenvolvimento de Infraestrutura de Carregamento: Criar uma rede de infraestrutura de carregamento ampla e bem distribuída, alinhada com as áreas de maior demanda e viabilizada por meio de parcerias público-privadas.

Campanhas Educativas: Realizar campanhas de conscientização para informar o público sobre a importância das emissões e como a etiquetagem veicular pode ajudar nas escolhas de compra mais sustentáveis.

Parcerias para Inovação Tecnológica: Incentivar a colaboração entre o governo e o setor privado para o desenvolvimento de novas tecnologias de redução de emissões, com apoio direto a projetos que visem o aprimoramento de veículos elétricos e híbridos.

IMPLICAÇÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS

O fortalecimento do PBEV e de políticas voltadas para a etiquetagem tem o potencial de posicionar o Brasil como um dos líderes na transição para a eletromobidade. A longo prazo, o aumento na adoção de veículos eletrificados poderá reduzir drasticamente a pegada de carbono do setor de transporte, contribuindo de forma significativa para o cumprimento das metas climáticas tanto nacionais quanto globais.

No entanto, a continuidade do investimento em infraestrutura e a oferta de incentivos para tecnologias limpas são essenciais para consolidar essa transição. Além disso, é fundamental preparar o mercado para futuros avanços, como o aumento da autonomia dos VE e VH e a implementação de sistemas de carregamento mais eficientes, que fortalecerão ainda mais a sustentabilidade no setor.

Esta pesquisa apresenta algumas limitações, primeiramente, a análise se concentrou principalmente em dados quantitativos de produção, emplacamento e emissões, o que restringe a compreensão de aspectos qualitativos, como as motivações e barreiras enfrentadas pelos consumidores na adoção de veículos elétricos e híbridos.

Para estudos futuros, seria interessante investigar a percepção do consumidor sobre as tecnologias de veículos eletrificados e a análise de políticas públicas regionais que possam

influenciar a transição para a eletromobilidade. Além disso, estudos sobre a evolução da infraestrutura de recarga, a autonomia dos veículos e a viabilidade econômica de longo prazo dessas tecnologias podem ajudar a compreender os desafios e as oportunidades que o Brasil enfrentará na consolidação da eletromobilidade.

REFERÊNCIAS

AROWOLO, W.; PEREZ, Y. Rapid decarbonisation of Paris, Lyon, and Marseille's power, transport and building sectors by coupling rooftop solar PV and electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Gif-sur-Yvette, v. 137, p. 110564, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.110564>. Acesso em: 5 out. 2024.

BOUSCAYROL, A.; BOULON, L.; CASTEX, E.; MIAUX, S. Electro-Mobility for CAMPUS of Universities Based on Sustainability. In: *Proceedings of the 2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*. Lille: IEEE, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/VPPC46532.2019.8952314>. Acesso em: 5 out. 2024.

BRASIL. Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018. Institui o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística e dispõe sobre as condições para o desenvolvimento do setor automotivo e medidas correlatas. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 10 dez. 2018. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=13755&ano=2018&ato=cecATTE5UeZpWTf8f>. Acesso em: 10 nov. 2024.

BRASIL. Medida Provisória nº 1.175, de 1º de janeiro de 2023. Dispõe sobre a redução de tributos para veículos de baixa emissão. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1 jan. 2023a. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=MPV&numero=1157&ano=2023&ato=57bEzZU9kMZpWT668>. Acesso em: 10 nov. 2024.

BRASIL. Medida Provisória nº 1.178, de 15 de março de 2023. Estabelece incentivos fiscais para a aquisição de veículos elétricos e híbridos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 15 mar. 2023b. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=MPV&numero=1178&ano=2023&ato=2ecK3a610MZpWT1de>. Acesso em: 10 nov. 2024.

BROADBENT, G. H.; METTERNICHT, G.; WIEDMANN, T.; ALLEN, C. Transforming Australia's road fleet with electric vehicles: strategies and impediments affecting net-zero emissions targets for 2050. *Case Studies on Transport Policy*, Sydney, v. 16, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101191>. Acesso em: 5 out. 2024.

BURKERT, A.; SCHMUELLING, B. Challenges of conceiving a charging infrastructure for electric vehicles – An overview. In: *2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*. Wuppertal: IEEE, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/VPPC46532.2019.8952451>. Acesso em: 5 out. 2024.

CHUDY, A.; MAZUREK, P. A. Electromobility – The importance of power quality and environmental sustainability. *Journal of Ecological Engineering*, Lublin, v. 20, n. 10, p. 15-23, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.12911/22998993/112713>. Acesso em: 5 out. 2024.

DESAI, R. R.; HITTINGER, E.; WILLIAMS, E. Interaction of consumer heterogeneity and technological progress in the US electric vehicle market. *Energies*, Golden, v. 15, n. 13, p. 4722, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en15134722>. Acesso em: 5 out. 2024.

DOLGANOVA, I.; RÖDL, A.; BACH, V.; KALTSCHMITT, M.; FINKBEINER, M. A review of life cycle assessment studies of electric vehicles with a focus on resource use. *Resources*, Berlin, v. 9, n. 3, p. 32, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/resources9030032>. Acesso em: 5 out. 2024.

EMODI, N. V.; DWYER, S.; NAGRATH, K.; ALABI, J. Electromobility in Australia: Tariff design structure and consumer preferences for mobile distributed energy storage. *Sustainability*, Brisbane, v. 14, n. 11, p. 6631, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14116631>. Acesso em: 5 out. 2024.

EWELINA, S. M, E.; GRYSA, K. Assessment of the total cost of ownership of electric vehicles in Poland. *Energies*, Kielce, v. 14, n. 4806, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en14164806>. Acesso em: 5 out. 2024.

FENABRAVE. Anuário FENABRAVE 2023: desempenho da distribuição automotiva no Brasil. São Paulo: FENABRAVE, 2023. Disponível em: <https://fenabrave.org.br/anuario-2023>. Acesso em: 5 out. 2024.

GŁODOWSKA, K. Electromobility of the courier market. *Sustainability*, Warsaw, v. 15, n. 23, p. 16186, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su152316186>. Acesso em: 5 out. 2024.

GRETA, G.; LEHMANN, A. Fostering electromobility in regions: Sustainable policy and business approaches. In: *Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*. Milan: IEEE, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/VPPC.2015.7352911>. Acesso em: 5 out. 2024.

HIGUERAS-CASTILLO, E.; MOLINILLO, S.; COCA-STEFANIAK, J. A.; LIÉBANA-CABANILLAS, F. Perceived value and customer adoption of electric and hybrid vehicles. *Sustainability*, Granada, v. 11, n. 18, p. 4956, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11184956>. Acesso em: 5 out. 2024.

INMETRO. Máscara PBEV 2024. Brasília: Inmetro, 2024. Disponível em: https://www.conpet.gov.br/download/pdf/Folheto_Etiquetagem_Veicular_final-nov.pdf. Acesso em: 5 out. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 50 Brazil: Emissions. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil/emissions>. Acesso em: 10 nov. 2024b.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global EV Outlook 2024a: Moving towards increased affordability. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>. Acesso em: 5 out. 2024.

MACHADO, C. A. S.; TAKIYA, H.; YAMAMURA, C. L. K.; QUINTANILHA, J. A.; BERSSANETI, F. T. Placement of infrastructure for urban electromobility: A sustainable approach. *Sustainability*, São Paulo, v. 12, n. 16, p. 6324, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12166324>. Acesso em: 5 out. 2024.

MEYER, D.; SCHAUPENSTEINER, N.; RIQUEL, J. Business models and ecosystems in the circular economy using the example of battery second use storage systems. Duisburg, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101191>. Acesso em: 5 out. 2024.

MPOI, G.; MILIOTI, C.; MITROPOULOS, L. Factors and incentives that affect electric vehicle adoption in Greece. *International Journal of Transportation Science and Technology*, Athens, v. 12, p. 1064-1079, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2023.01.002>. Acesso em: 5 out. 2024.

PIETRZAK, K.; PIETRZAK, O. Environmental effects of electromobility in a sustainable urban public transport. *Sustainability*, Szczecin, v. 12, n. 3, p. 1052, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12031052>. Acesso em: 5 out. 2024.

PINTO-BAUTISTA, S.; BAUMANN, M.; WEIL, M. Prospective life cycle assessment of an electric vehicle equipped with a model magnesium battery. *Energy, Sustainability and Society*, Ulm, v. 14, p. 44, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13705-024-00475-y>. Acesso em: 5 out. 2024.

SAE BRASIL; SAE4MOBILITY. Mapeamento de cadeias de mobilidade: plano Nordeste Potência. São Paulo: SAE Brasil, 2022. Disponível em: <https://sae4mobility.org/mobilidade-nordeste-potencia>. Acesso em: 5 out. 2024.

SALGADO-CONRADO, L.; ÁLVAREZ-MACÍAS, C.; LOERA-PALOMO, R.; GARCÍA-CONTRERAS, C. P. Progress, challenges and opportunities of electromobility in Mexico. *Sustainability*, Coahuila, v. 16, n. 9, p. 3754, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16093754>. Acesso em: 5 out. 2024.

SCHILL, W. P.; GERBAULET, C. Power system impacts of electric vehicles in Germany: Charging with coal or renewables? *Applied Energy*, Berlin, v. 156, p. 185-196, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.07.012>. Acesso em: 5 out. 2024.

SKRÚCANÝ, T.; KENDRA, M.; STOPKA, O.; MILOJEVIC, S.; FIGLUS, T.; CSISZÁR, C. Impact of the electric mobility implementation on the greenhouse gases production in Central European countries. *Sustainability*, Žilina, v. 11, n. 18, p. 4948, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11184948>. Acesso em: 5 out. 2024.

STARK, J.; WEISS, C.; TRIGUI, R.; FRANKE, T.; BAUMANN, M.; JOCHEM, P.; BRETHAUER, L.; CHLOND, B.; GÜNTHER, M.; KLEMENTSCHITZ, R.; LINK, C.; MALLIG, N. Electric vehicles with

range extenders: Evaluating the contribution to the sustainable development of metropolitan regions. *Journal of Urban Planning and Development*, Stuttgart, v. 144, n. 1, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000408](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000408). Acesso em: 5 out. 2024.

TEOH, T.; KUNZE, O.; TEO, C. C.; WONG, Y. D. Decarbonisation of urban freight transport using electric vehicles and opportunity charging. *Sustainability*, Delft, v. 10, n. 9, p. 3258, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10093258>. Acesso em: 5 out. 2024.

WEWER, A.; BILGE, P.; DIETRICH, F. Advances of 2nd life applications for lithium ion batteries from electric vehicles based on energy demand. *Sustainability*, Berlin, v. 13, n. 10, p. 5726, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13105726>. Acesso em: 5 out. 2024.

ZEMA, T.; SULICH, A.; GRZESIAK, S. Charging stations and electromobility development: A cross-country comparative analysis. *Energies*, Wroclaw, v. 16, n. 1, p. 32, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16010032>. Acesso em: 5 out. 2024.