

# **Análise da Implementação Sustentável de Veículos Elétricos no Brasil**

*Lucas Papa de Sousa*

## **RESUMO**

Diante do crescente aumento global da frota de veículos elétricos, especialmente no Brasil, este trabalho se propõe a explorar a evolução e a sustentabilidade da frota veicular nacional. Focamos na transição dos veículos a combustão para os veículos elétricos (VEs), analisando as implicações dessa mudança tanto na matriz energética quanto no meio ambiente. O objetivo é desvendar a viabilidade e os impactos ambientais da adoção de VEs, considerando aspectos técnicos e econômicos, além de revisar as políticas públicas brasileiras que fomentam tecnologias de baixa emissão. Utilizamos fontes respeitáveis, como IBGE e ABVE, bem como estudos acadêmicos e relatórios do Ministério dos Transportes e da Empresa de Pesquisa Energética para fundamentar nossa análise. Através de dados quantitativos sobre a evolução da frota e suas consequências ambientais, revelamos um panorama intrigante. Os resultados mostram que, embora a inserção de VEs no Brasil tenha avançado, ainda enfrentamos desafios significativos, como a urgência de uma infraestrutura de recarga adequada e a adaptação da rede elétrica para atender à crescente demanda. Além de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em comparação aos veículos convencionais, os VEs têm o potencial de transformar a mobilidade urbana e contribuir para um futuro mais sustentável. A expansão dos veículos elétricos, combinada com o uso de fontes de energia renovável, representa uma oportunidade única para minimizar a pegada de carbono do setor de transporte no Brasil. Para que esses benefícios se concretizem, é essencial investir em infraestrutura e implementar políticas públicas que promovam essa transição de maneira estruturada e sustentável.

Palavras-chave: Veículos elétricos; Sustentabilidade; Impactos ambientais; políticas públicas.

## **ABSTRACT**

In light of the global surge in electric vehicle (EV) fleets, particularly in Brazil, this paper aims to explore the evolution and sustainability of the national vehicle fleet. We focus on the transition from internal combustion vehicles to electric vehicles, analyzing the implications of this shift on both the energy matrix and the environment. The objective is to unveil the viability and environmental impacts of adopting EVs, considering technical and economic aspects, alongside a review of Brazilian public policies that promote low-emission technologies. Our analysis is grounded in reputable sources, including IBGE, ABVE, academic studies, and reports from the Ministry of Transport and the Energy Research Company. Through quantitative data on fleet evolution and its environmental consequences, we reveal an intriguing landscape. The results indicate that, although the integration of EVs in Brazil has advanced, significant challenges remain, such as the urgent need for adequate charging infrastructure and the adaptation of the electrical grid to meet growing demand. Beyond reducing CO<sub>2</sub> emissions compared to conventional vehicles, EVs have the potential to transform

urban mobility and contribute to a more sustainable future. The expansion of electric vehicles, combined with renewable energy sources, presents a unique opportunity to minimize the carbon footprint of Brazil's transportation sector. To realize these benefits, investing in infrastructure and implementing public policies that promote this transition in a structured and sustainable manner is essential.

Keywords: Electric vehicles; Sustainability; Environmental impacts; Public policies.

## **INTRODUÇÃO**

Os veículos elétricos (VEs) estão sendo cada vez mais considerados uma solução viável para problemas graves de poluição do ar, além de apresentarem um potencial significativo para reduzir a dependência de combustíveis fósseis (WEBBER, 2024). A crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes do rápido desenvolvimento da civilização humana se tornou um dos temas mais relevantes no contexto social e político global nos últimos anos. O setor de transportes é um dos principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE), representando 24% das emissões globais em 2019 (UNEP, 2020).

Diante desse panorama, quais são os impactos dos VEs em comparação aos veículos movidos a combustíveis fósseis? Quais são os principais fatores que influenciam a adoção de veículos elétricos na logística, especialmente no Brasil?

Com a intenção de mitigar as emissões de GEE, o setor de transportes busca regularmente otimizar sua eficiência energética, tanto no âmbito do fretamento de pessoas e produtos quanto na eficiência mecânica e elétrica dos veículos (SOUZA; SILVA, 2023). No entanto, a inserção dos veículos elétricos no mercado ainda tem sido muito lenta e restrita, especialmente em países em desenvolvimento, onde a participação é inferior a 2% em comparação aos veículos a combustão. Ademais, a desconfiança das pessoas em relação a novas tecnologias também desempenha um papel na restrição da adoção de VEs. Além disso, a insuficiência de infraestrutura pública para o carregamento das baterias compromete consideravelmente a praticidade do uso desses veículos (SABILLON; MEJÍA; FRANCO, 2024).

De acordo com Gislene de Oliveira (2005, p.10), "O empresário que cumpre seu papel social atrai mais consumidores e está investindo na sociedade e no próprio futuro". Além disso, "as empresas que focarem em ESG terão vantagens no mercado, o que possibilita a redução de custos e o aumento da rentabilidade a médio e longo prazo"

(SEBRAE, 2023). Uma área de grande importância onde as companhias podem cortar custos está nas atividades de suas operações logísticas, especificamente no transporte de mercadorias do centro de distribuição até o consumidor final. As operações logísticas refletem e impactam diretamente questões ambientais, econômicas e sociais. Dentre as principais fontes poluidoras nas áreas urbanas, a crescente circulação de veículos que necessitam da queima de combustíveis derivados do petróleo é a maior responsável pelos incômodos causados por fuligem, odores desagradáveis, entre outros poluentes lançados na atmosfera. A redução da poluição atmosférica contribui para uma maior expectativa de vida, uma vez que ajuda a prevenir doenças como câncer de pulmão, acidentes vasculares cerebrais e pneumonias crônicas e agudas (FERNANDES; CARVALHO; CAMPOS, 2009).

O cenário nacional indica que, embora a matriz elétrica tenha 87,9% da geração proveniente de fontes renováveis, o sistema de transporte de carga e de passageiros, responsável por 33% de toda a energia consumida no país, possui apenas 21,5% de participação de energias renováveis. Embora os 47,4% de participação de renováveis na matriz energética não tornem essa a principal fonte de energia, essa porcentagem é bem superior à média global de pouco mais de 14% (EPE, 2023).

Embora o Brasil ainda esteja atrás de países desenvolvidos, o mercado de VEs no país tem mostrado uma tendência global de crescimento. Dados da Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE) indicam que, até o final de 2023, a frota de VEs no Brasil era de cerca de 150 mil unidades, com quase 70% desses veículos sendo híbridos, representando aproximadamente 0,25% dos 60,5 milhões de automóveis em circulação (ABVE, 2023). Comparado aos 44 mil veículos em 2020, isso representa um crescimento superior a 300% em menos de três anos (NEOCHARGE, 2023). Esse aumento de mercado e produção em massa tem tornado os veículos elétricos mais atraentes para os consumidores, que estão recebendo opções cada vez mais acessíveis (IEA, 2023). Além de apresentarem baixo custo de manutenção devido à menor quantidade de peças móveis e fluidos (REN21, 2020), os VEs devem alcançar a paridade de preços com veículos de motor a combustão interna (MCI) até o fim da década (BLOOMBERGNEF, 2023). A eletrificação da frota de veículos é uma alternativa eficiente para os modais logísticos, reduzindo custos e os efeitos negativos da poluição atmosférica, que são uma séria ameaça à saúde e qualidade de vida da população.

Contudo, a inserção dos veículos elétricos no mercado ainda tem sido muito lenta e restrita a países em desenvolvimento, com participação inferior a 2% em comparação aos veículos a combustão. Rodrigo Foresta Wolffenbüttel, sociólogo da UFRGS, analisou a política de popularização dos automóveis elétricos no Brasil e constatou a ausência de um percentual mínimo de veículos com emissão nula de gases de efeito estufa, além da falta de incentivos para o desenvolvimento de tecnologias de energia alternativa. Essas lacunas dificultam a criação de um Sistema Tecnológico de Inovação para veículos elétricos, favorecendo a combustão interna e limitando o impacto do Inovar-Auto na produção e pesquisa de automóveis elétricos e híbridos.

Nesse contexto, o sistema nacional de inovação é crucial para o sucesso dos veículos elétricos, sustentando-se por suas estratégias de desenvolvimento. A adoção desses veículos depende de uma série de fatores, como aspectos tecnológicos, institucionais e sociais, incluindo a elasticidade da demanda, a distribuição das redes de recarga, a capacidade de produção, as curvas de aprendizado dos fabricantes de baterias, os nichos de mercado e a atuação do governo. Os resultados demonstram que esse sistema é vital para a melhoria e expansão das frotas elétricas no Brasil, e os dados mais recentes evidenciam o progresso do setor no país (SANTOS; VAZ; MALDONADO, 2023).

## **DESENVOLVIMENTO**

A história dos veículos a combustão está intrinsecamente ligada à Revolução Industrial e à evolução das máquinas movidas a vapor, que precederam os motores de combustão interna.

Os primeiros passos para o desenvolvimento de motores a combustão interna começaram no final do século XVII, com estudos sobre motores a vapor. Entretanto, o motor de combustão interna, teve seu marco inicial no século XIX e foi uma das invenções mais impactantes na sociedade. Tendo várias utilizações, sendo, a mais importante, ser fonte de potência para locomoção de veículos. Um dos primeiros motores a combustão interna foi desenvolvido pelo engenheiro belga Étienne Lenoir, que, em 1860, criou um motor a gás que alimentava um veículo, mas seu veículo era pouco prático e ineficiente. No entanto, foi o engenheiro alemão Nikolaus Otto quem fez uma das contribuições mais importantes, ao desenvolver o motor de quatro tempos em 1876, conhecido como o ciclo de Otto, enquanto Rudolf Diesel desenvolveu o

motor a diesel em 1893, ambos utilizando derivados do petróleo. Esses motores a gasolina tornaram-se os protótipos dos motores de combustão interna modernos. Karl Benz, também alemão, criou o primeiro veículo automotor com motor a combustão interna movido a gasolina. Esse automóvel é considerado o primeiro carro moderno.

No início do século XX, o desenvolvimento dos veículos a combustão alcançou seu ápice com Henry Ford, nos Estados Unidos, que revolucionou o setor automotivo ao implementar a linha de montagem na produção em massa de veículos, com o famoso Ford Model T em 1908. Isso permitiu a fabricação de carros em grande escala, tornando-os acessíveis a uma maior parcela da população. O uso de motores a combustão interna foi adotado amplamente em veículos de transporte de passageiros, substituindo carruagens e outros meios de transporte movidos a tração animal, além de concorrentes como os veículos movidos a vapor.

Os veículos movidos a combustíveis fósseis, como gasolina e diesel, têm sido uma das principais fontes de energia para o transporte desde o início do século XX, com impactos significativos na economia e no meio ambiente.

O Brasil ocupa uma posição de destaque na produção de petróleo mundial, sendo o oitavo maior produtor, com aproximadamente 3,1 milhões de barris por dia. Grande parte dessa produção provém das reservas offshore, especialmente da região do pré-sal, que se destaca por custos de extração competitivos no mercado global (ANP, 2023). Em termos de consumo, o Brasil demanda cerca de 2,5 milhões de barris por dia, o que o torna um exportador líquido de petróleo (ANP, 2023).

Entretanto, o preço dos combustíveis no Brasil está diretamente vinculado ao mercado internacional. Em 2022, o preço médio do barril de petróleo foi de US\$ 99, conforme dados do Banco Mundial (2023), o que resultou em aumentos nos preços domésticos de combustíveis e nos custos operacionais em setores como transporte e logística (World Bank Group, 2023). Além disso, 70% da frota brasileira de veículos ainda é composta por modelos movidos a combustíveis fósseis, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2023), refletindo a infraestrutura consolidada para esses combustíveis e a lenta transição para alternativas sustentáveis.

Os veículos movidos a combustão interna são responsáveis por uma parte significativa das emissões de gases de GEE. Segundo o Painel Intergovernamental

sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), o setor de transportes contribui com cerca de 14% das emissões de GEE, com o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como principal poluente. No Brasil, o setor de transporte responde por 47% das emissões de CO<sub>2</sub>, sendo a maior fonte de poluição urbana, conforme dados do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2023).

Além das emissões de CO<sub>2</sub>, os veículos a diesel emitem 2,6 vezes mais partículas finas do que os veículos a gasolina, segundo a Agência Europeia do Meio Ambiente (EEA, 2022), contribuindo para a poluição atmosférica e problemas respiratórios. A poluição do ar gerada por combustíveis fósseis está relacionada a milhares de mortes prematuras por ano em grandes centros urbanos no Brasil, conforme dados da World Health Organization (WHO, 2022).

Embora os veículos movidos a combustíveis fósseis tenham impulsionado o desenvolvimento econômico, seus custos ambientais e de saúde pública são cada vez mais evidentes. No Brasil, a dependência desse modelo energético, apesar da crescente atenção às alternativas sustentáveis, destaca a necessidade de uma transição mais acelerada para tecnologias de transporte mais limpas, como os veículos elétricos, que já demonstram viabilidade econômica em diversos países.

## **VEÍCULOS ELÉTRICOS**

O debate sobre veículos elétricos (VEs) tem ganhado destaque nos últimos anos, mas a história dessa tecnologia remonta ao século XIX. Os primeiros modelos de VEs surgiram na década de 1830, quando inventores como Robert Anderson criaram protótipos de carruagens movidas a eletricidade. No final do século XIX e início do século XX, os veículos elétricos competiam diretamente com os movidos a gasolina e a vapor, sendo preferidos por muitos devido à operação silenciosa e à ausência de emissões poluentes. No entanto, com o desenvolvimento de motores a combustão interna mais eficientes e a descoberta de grandes reservas de petróleo, os VEs perderam espaço no mercado (OLIVEIRA; SOUZA, 2022).

Foi apenas no final do século XX, em meio a crises de petróleo e ao crescente alerta sobre questões ambientais, que o interesse pelos VEs ressurgiu. A partir dos anos 2000, avanços tecnológicos, especialmente em baterias de íons de lítio, tornaram os veículos elétricos uma alternativa viável e sustentável em relação aos veículos tradicionais. Marcas como BYD, Tesla, Nissan e Toyota lideraram essa

transformação, popularizando a eletrificação no setor de transporte e inaugurando uma nova era da mobilidade elétrica (IEA, 2023).

Essa categoria de veículos elétricos é caracterizada pelo conceito de carro compacto, voltado principalmente para áreas urbanas, onde as distâncias percorridas tendem a ser menores. Recentemente, dados indicam um crescimento significativo na adoção desse tipo de veículo, especialmente em grandes cidades, devido à busca por soluções mais sustentáveis e eficientes para o tráfego urbano (CARNEIRO, 2018). Algumas desvantagens dos VEs estão relacionadas à autonomia das baterias, velocidade de recarga e duração, em ciclos de carga-descarga e da sua vida útil.

A transição para VEs está se tornando cada vez mais essencial na busca por uma economia sustentável. Com o aumento da adoção global de VEs, espera-se uma redução significativa no consumo de petróleo, o que pode mitigar os impactos ambientais decorrentes da extração, refino e combustão de combustíveis fósseis (GEOTAB, 2024). A substituição progressiva dos veículos a combustão interna por elétricos é vista como uma das estratégias-chave para alcançar os objetivos de redução de emissões de GEE, conforme estipulado pelo Acordo de Paris, principalmente se a matriz elétrica associada à recarga for composta de fontes limpas de energia.

Na 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), realizada em Paris, foi estabelecido um novo acordo climático global, com o propósito de fortalecer a capacidade dos países em enfrentar os efeitos das mudanças climáticas. O Acordo de Paris, aprovado por 195 nações, visa principalmente reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa, promovendo esse objetivo dentro de um contexto de desenvolvimento sustentável (UNFCCC, 2015).

A IEA aponta que a eletrificação do setor de transporte está progredindo rapidamente. Relatórios recentes da IEA indicam que mais de 20% dos veículos vendidos em 2024 serão elétricos, com as vendas globais de VEs estimadas em aproximadamente 17 milhões até o final do ano. Esse crescimento reflete tanto os avanços tecnológicos quanto o empenho de governos e indústrias em acelerar a transição para alternativas de transporte mais limpas e eficientes (IEA, 2023).

## **MATRIZ ENÉRGICA**

Em 2022, a matriz energética brasileira registrou uma produção de 509 TWh (terawatts-hora), representando um aumento de aproximadamente 2,4% em comparação com o ano anterior. Esse montante provém de diversas fontes, como hidrelétricas, usinas eólicas, termelétricas e nucleares (EPE, 2022). A geração hidrelétrica se destacou, apresentando um crescimento de 13% em relação ao ano anterior (MME, 2022). A matriz divide-se em dois principais sistemas:

- Sistemas Isolados de Energia Elétrica;
- Sistema Interligado Nacional.

O SIN é caracterizado pela interconexão dos sistemas de geração e transmissão, otimizando recursos energéticos ao utilizar as variações hidrológicas e de mercado entre diferentes regiões (ONS, 2023). Já os Sistemas Isolados se localizam, em sua maioria, na região Norte, fornecendo energia a comunidades remotas onde a interligação através de linhas de transmissão é complexa.

A oferta de energia no Brasil é diversificada, com maior concentração em fontes como hidráulica, biomassa e termelétricas. A hidroeletricidade, aproveitando a riqueza hídrica do país, representa cerca de 47,8% da capacidade total do SIN (ONS, 2024).

As usinas termelétricas, por sua vez, variam conforme o combustível: termelétricas a gás natural (6,2% da capacidade), a carvão mineral (1,3%) e as movidas a derivados de petróleo (1%). Embora haja outros tipos de termelétricas, como as de bagaço de cana-de-açúcar e efluente gasoso, elas representam menos de 1% da capacidade instalada e são menos relevantes no cenário atual (ONS, 2024).

Fontes renováveis, como solar fotovoltaica e eólica, têm avançado significativamente, destacando-se como alternativas de menor impacto ambiental para geração de eletricidade.

No contexto da alimentação de VEs na frota brasileira, fontes como hidrelétricas e termelétricas serão fundamentais para abastecimento direto na rede elétrica. Uma análise detalhada será necessária para determinar a combinação de fontes que ofereça maior sustentabilidade e vantagens econômicas. Além disso, outras formas de fornecimento de energia poderão ser adaptadas para abastecer os pontos de carregamento dos VEs, promovendo uma infraestrutura que suporte o crescimento dessa tecnologia.



## **FROTA DE VEÍCULOS BRASILEIRA**

Nos últimos 16 anos, a frota de veículos do setor de transporte no Brasil cresceu significativamente, alcançando um total de 115,16 milhões de veículos (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2024). De acordo com uma pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2006, o país contava com 45 milhões de veículos registrados. Esse número representa um aumento de 155,65% em relação ao período atual, com uma média anual de adição de 4,3 milhões de veículos.

Segundo a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE), o mercado brasileiro superou a marca de 300 mil veículos elétricos e híbridos leves em circulação no país em julho de 2024, em comparação com julho de 2023, teve um aumento de excelentes 105%. Atualmente alcançando 10% em participação da frota de veículos no país, avanço rápido, considerando que essa participação era de apenas 0,4% há um ano (ABVE, 2024).

O governo brasileiro no começo, já iniciou a tendência mundial no seguimento de transporte com baixa ou nenhum índice de poluição atmosférica. Os impostos foram abolidos em caso de importação para carros elétricos com autonomia de 80 km após a realização de apenas uma carga (VOOLTA, 2023). A cidade de São Paulo na época, ofereceu desconto de 50% no Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) e isenção do rodízio municipal para VEs, híbridos e a hidrogênio. Os estados de Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul também deram desconto de 50% e, nos estados do Piauí, Maranhão, Ceará, Sergipe, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte e Pernambuco instauraram isenção do IPVA para modelos elétricos (BM&C NEWS, 2024). Atitudes como estas, permitiram uma conscientização ambiental fosse difundida rapidamente. Em meio a esses aspectos, deve-se estudar seus modos de impacto de forma a crescer de maneira organizada, bem estruturada e com baixos impactos ao meio ambiente.

## **IMPACTOS TÉCNICOS A POTÊNCIA DE SISTEMA ELÉTRICO**

Os VEs são inovações de tipos de cargas inseridas na distribuição de energia elétrica. Considerando a facilidade de carregamento residenciais e fazendo aproveitamento dos horários de não utilização do veículo, atualmente no Brasil, os postos de combustíveis no Brasil continuam a ser os principais pontos de abastecimento para veículos a gasolina e diesel, atendendo a grande maioria da frota. No entanto, o país

também tem registrado um aumento gradual na instalação de estações de recarga para VEs, com crescimento de 24% em 2022. Apesar disso, cerca de 70% dos carregamentos de veículos elétricos no Brasil ainda ocorrem em ambientes privados, como residências e empresas (ANP, 2023).

A crescente inserção dos VEs no mercado brasileiro tem demandado uma adaptação contínua por parte das distribuidoras de energia, que precisam mitigar os impactos técnicos gerados na rede elétrica. Embora a expansão dos VEs no Brasil ainda ocorra de forma gradual, a preocupação com os desafios técnicos, como a sobrecarga da infraestrutura energética e a estabilidade da rede, é crescente. Para garantir o devido suporte à demanda de recarga, é necessário que haja investimentos significativos no reforço da infraestrutura de distribuição e geração de energia. Essa modernização é essencial para aumentar a confiabilidade do sistema, garantindo aos VEs que possam ser carregados de maneira eficiente e segura, sem comprometer a operação da rede elétrica e autonomia dos veículos durante deslocamentos mais longos.

Segundo Luís Carlos Pereira da Silva, em seu artigo para o Congresso Latino-Americano de Geração e Transmissão de Eletricidade, o perfil de carregamento residencial de veículos elétricos no Brasil ainda ocorre de forma lenta, com potências em torno de 3,5 kW (SILVA, 2022). Esse padrão de carregamento utiliza tensões de 220 V em corrente alternada, com correntes entre 16 A e 32 A, resultando em tempos de recarga de aproximadamente 6 a 10 horas para atingir 100% da capacidade da bateria. Esse cenário pode provocar impactos significativos na curva de carga das unidades consumidoras, principalmente em horários de pico, quando o carregamento coincide com o maior consumo residencial de eletricidade. Com o aumento do número de veículos elétricos, torna-se necessário revisar as condições operacionais e o planejamento da rede elétrica para garantir sua estabilidade.

Pesquisas mais recentes indicam que, à medida que os veículos elétricos se popularizam no Brasil, os carregamentos em ambientes residenciais permanecem predominantes. De acordo com o 3º Anuário 2023: Rumo à expansão do mercado, políticas, e tecnologias no Brasil da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), o uso de carregadores de estações de carregamento lenta e normal, têm potência de 3,7 kW e 7,4 kW ainda prevalece, mas há uma tendência futura na adoção de tecnologias de recarga mais potentes, como as de 11 kW e 22 kW, que são classificadas por estações de recarga semirrápidas, que reduzem o tempo de recarga

de 4 a 6 horas, para a 1,8 a 3,6 horas, podendo variar dependendo da eficiência do sistema e das condições e carregamento, diminuindo o impacto sobre a rede (PNME, 2023).

Os principais impactos técnicos na rede elétrica decorrentes da inserção de VEs no sistema elétrico de potência, incluem:

- Alteração no equilíbrio da tensão da rede;
- Intensificação de harmônicos na rede;
- Sobrecarga de transformadores e linhas de distribuição;
- Desbalanceamentos de fases;

## **IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE – EMISSÃO CO<sub>2</sub>**

O setor transporte é o maior consumidor de energia e a maior fonte de móvel contaminante do país, sendo a principal causadora de doenças cardiorrespiratórias. Aliado a isto, é observado que o cenário nacional apresentava dependência energética de petróleo, até mesmo sendo dependente de importação, mas de acordo com a pesquisa realizado pelo Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP), Evolução do Consumo Aparente e da Dependência Externa, no ano de 2014, essa estatística chegou em seu ápice (IBP, 2023), estando nesse cenário o país começou a analisar e investir em outras gerações de energia elétrica. Com esse cenário, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em parceria com o Ministério de Minas e Energia (MME), revelou o Balanço Energético Nacional (BEN) 2024, o qual demonstrou que ao longo desses 10 anos, conseguimos alcançar uma queda na participação de petróleo e derivados para geração elétrica, que passou de 39,2% para 35,1%, as mudanças apontadas indicam os avanços do país na diversificação e sustentabilidade da oferta energética nacional (BEN, 2024). De acordo com o ministro do MME, Alexandre Silveira, a redução na dependência de fontes fósseis reflete o nosso esforço contínuo para fortalecer a renovação do setor energético nacional. Nos últimos anos, nossas políticas públicas e investimentos estratégicos têm impulsionado o crescimento de fontes alternativas, como energia solar, eólica e biomassa. Essa transição contribui significativamente para a mitigação das emissões de GEE.

Como já mencionado, os VEs continuam a se destacar como uma alternativa sustentável para mitigar a emissão de poluentes e redução do uso de fontes fósseis de energia. No entanto, sua adoção em massa enfrenta desafios significativos.

Um dos principais fatores é o aumento da demanda por energia elétrica, já que a integração com VEs na matriz de transportes brasileira requer uma infraestrutura robusta de recarga. Essa necessidade pode pressionar o sistema elétrico, exigindo investimentos em geração de energia renovável e em melhorias na rede de distribuição. Além disso, a implementação dos VEs pode levar uma interação complexa entre os consumidores residenciais, comerciais e a geração distribuída.

## **ESTUDOS DAS EMISSÕES DE CO2**

Segundo estudos da Universidade Federal do Ceará (UFC), a eficiência dos motores a combustão interna permanece em torno de 35%, podendo alcançar, no máximo, 40%. Estima-se que apenas 20% a 25% dessa potência efetivamente seja transferida para as rodas, devido a perdas mecânicas e de fricção. Essas limitações são inerentes ao processo de combustão e aos componentes associados, como sistemas de escape e de arrefecimento. Em contraste, os VEs demonstram eficiência significativamente superior. Segundo o professor André Bueno, da UFC, um dos responsáveis pela pesquisa de tecnologias de motores mais eficientes e menos poluentes, os motores elétricos operam com eficiência de 85% a 95%, com aproximadamente 60% a 65% da potência sendo diretamente transferida para as rodas. Essa alta eficiência é atribuída à menor quantidade de peças móveis e à ausência de combustão interna, o que reduz as perdas energéticas.

No que tange à poluição, os VEs também oferecem benefícios ambientais relevantes. Além de reduzirem substancialmente as emissões de gases poluentes durante sua operação, produzem ruídos praticamente imperceptíveis, contribuindo para a diminuição da poluição sonora (ABVE, 2024). De acordo com o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, a frota de veículos brasileira emitiu, em 2012, cerca de 1,25 milhões de toneladas de dióxido de carbono, das quais 38% foram oriundas de automóveis. Embora os VEs não emitam gases poluentes durante o uso, a produção da energia elétrica necessária para sua recarga pode gerar emissões de CO<sub>2</sub>, especialmente quando essa energia é proveniente de fontes não renováveis, como as termelétricas.

Para embasar esta análise, utiliza-se o artigo Impacto da Inserção de Veículos Elétricos no Sistema Elétrico de Potência Brasileiro, da engenheira eletricista Joana Laila Vital Carneiro, também da UFC. Este artigo avalia diferentes cenários nos quais a energia dos VEs seria obtida exclusivamente de fontes termelétricas, de uma combinação de fontes hidráulicas e termelétricas, ou somente de fontes hidráulicas.

No estudo de Joana (2018), é feita uma análise detalhada sobre as emissões de CO<sub>2</sub> e o impacto ambiental do setor de transporte. A pesquisa reforça a contribuição significativa da frota de veículos automotores para a poluição atmosférica no Brasil, destacando a emissão de 1,25 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2012, sendo 38% provenientes de automóveis. Além disso, o artigo realiza uma comparação entre a eficiência e as emissões de veículos movidos a gasolina e etanol, ressaltando que a eficiência do motor e a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida por litro consumido são fatores críticos para avaliar os impactos ambientais dos veículos a combustão.

Joana (2018) também discute a importância da transição para os VEs. Apesar de esses veículos não emitirem gases poluentes durante seu uso, a matriz energética utilizada para sua recarga é um fator decisivo em seu impacto ambiental. Caso a energia utilizada para recarga seja majoritariamente de fontes não renováveis, como termelétricas, o benefício ambiental dos VEs pode ser consideravelmente reduzido.

Com o objetivo de mitigar tais impactos, o estudo propõe o uso de fontes de energia limpa para a recarga dos VEs, incluindo:

Energia Fotovoltaica;

Energia Eólica;

Biomassa e Biocombustíveis.

A metodologia proposta no estudo para análise das emissões de CO<sub>2</sub> dos VEs, em comparação com os veículos a combustão, inclui cálculos detalhados baseados em médias de consumo e emissões. Tal abordagem é essencial para avaliar o real potencial dos VEs na mitigação das emissões e sua contribuição para uma matriz de transporte mais sustentável.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo discutiu a sustentabilidade na implementação de VEs no Brasil, considerando um contexto de rápidas transformações. Desde a pesquisa de Carneiro (2018), que analisou os impactos técnicos e ambientais da inserção de VEs na frota nacional, surgiram novos desafios e avanços que alteram a dinâmica da sustentabilidade. À época, Carneiro (2018) demonstrou que, apesar do crescimento da adoção dos VEs, os ganhos em redução de emissões de gases poluentes ainda eram limitados, sobretudo quando a eletricidade era majoritariamente gerada por fontes fósseis.

Atualmente, em 2024, a realidade se tornou ainda mais complexa. A mudança para uma matriz energética mais limpa e o maior uso de fontes renováveis, como a energia solar e eólica, têm potencial para reduzir as emissões associadas aos VEs de forma mais expressiva. Entretanto, a análise de Carneiro continua relevante, pois os desafios na infraestrutura elétrica, como a qualidade de energia e a presença de harmônicos, persistem e exigem atenção contínua. O aumento do uso de VEs demanda, portanto, monitoramento regular e investimento em tecnologias de mitigação, como filtros para harmônicos e capacitores, essenciais para preservar a estabilidade do Sistema Elétrico de Potência (SEP).

Ainda que as fontes renováveis estejam ganhando espaço, vale ressaltar que a dependência de termelétricas continua em algumas regiões brasileiras, o que representa um obstáculo para a plena sustentabilidade dos VEs. A pesquisa de Carneiro (2018) mostrou que, quando o abastecimento elétrico dos VEs provém de termelétricas, as emissões de dióxido de carbono são maiores, o que reforça a necessidade de um planejamento energético mais abrangente e alinhado à expansão da frota de VEs e à adoção de energias mais limpas.

Ao considerar a evolução recente da frota de veículos no Brasil, observa-se que a transição para meios de transporte mais sustentáveis é uma possibilidade viável, mas que precisa ser apoiada por políticas públicas sólidas. Incentivos para o uso de energias renováveis, como a biomassa e a solar, podem contribuir para a redução das emissões e promover um desenvolvimento sustentável no setor de transportes.

Dessa forma, este estudo reafirma a importância de uma abordagem holística na análise da sustentabilidade dos VEs, considerando as implicações técnicas, ambientais, sociais e econômicas presentes no Brasil. O futuro da mobilidade

sustentável no país exige, além da adoção de tecnologias mais limpas, um compromisso contínuo com a atualização da infraestrutura e da matriz energética, de modo a encontrar um equilíbrio entre inovação, eficiência e responsabilidade ambiental.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Produção média nacional de petróleo e gás bate recorde em 2023. Disponível em: <[https://www.gov.br/anp/pt-br/canais\\_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/producao-media-nacional-de-petroleo-e-gas-bate-recorde-em-2023](https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/producao-media-nacional-de-petroleo-e-gas-bate-recorde-em-2023)>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS (ABVE). 94 mil eletrificados: 2023 bate todas as previsões. Disponível em: <<https://abve.org.br/2023-supera-todas-as-previsoes-94-mil-eletrificados/>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS (ABVE). Vendas de eletrificados leves de 2024 já ultrapassa, em julho, o total de 2023. Disponível em: <<https://abve.org.br/vendas-de-eletrificados-em-2024-ja-ultrapassam-total-de-2023/>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVE). Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2023. Disponível em: <<https://anfavea.com.br/site/anuarios-2/>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

BLOOMBERGNEF. Electric Vehicle Outlook 2024. Disponível em: <<https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

BM&C NEWS. Incentivos governamentais no Brasil impulsionam veículos elétricos. Disponível em: <[https://bmcnews.com.br/2024/10/15/incentivos-governamentais-no-brasil-impulsionam-veiculos-eletricos/#google\\_vignette](https://bmcnews.com.br/2024/10/15/incentivos-governamentais-no-brasil-impulsionam-veiculos-eletricos/#google_vignette)>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

CARNEIRO, Joana Laila Vital. IMPACTO DA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA BRASILEIRO. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2023>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). ETC CM report 2022/02: Greenhouse gas intensities of transport fuels in the EU in 2020 - Monitoring under the Fuel Quality Directive. Disponível em: <[https://climate-energy.eea.europa.eu/topics/transport/fuel-quality/reports/copy2\\_of\\_etc-cme-report-11-2021-fuel-quality-monitoring-in-the-eu-in-2020](https://climate-energy.eea.europa.eu/topics/transport/fuel-quality/reports/copy2_of_etc-cme-report-11-2021-fuel-quality-monitoring-in-the-eu-in-2020)>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

FERNANDES, Juliana Santana; CARVALHO, Afrânio Martins de; CAMPOS, Júlia Faria; COSTA, Leandro de Oliveira. Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana. 2009. Disponível em: <<https://www.rmmg.org/artigo/detalhes/387>>. Acesso: 20 de outubro de 2024.

GEOTAB. Brasil está no caminho para adotar opções de entrega mais sustentáveis. Disponível em: <<https://www.geotab.com/pt-br/sala-de-imprensa/brasil-adocao-veiculos-eletricos-geotab/>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS (IBP). Evolução do consumo aparente e da dependência externa. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/consumo-aparente-e-dependencia-externa/>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil. Disponível em: <<https://energiaeambiente.org.br/produto/analise-das-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-e-suas-implicacoes-para-as-metas-climaticas-do-brasil-1970-2022>>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-10/>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). World Energy Outlook 2023. Disponível em: <<https://origin.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Boletim Mensal de Energia de agosto de 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/geracao-hidraulica-cresce-em-2022-enquanto-geracao-termica-cai>>. Acesso em: 27 de outubro 2024.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Frota de Veículos - 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

NEOCHARGE. Frota de Carros Elétricos no Brasil | NeoCharge. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

OLIVEIRA, Gislene de. RESPONSABILIDADE SOCIAL CORPORATIVA NAS EMPRESAS. 2005.

OLIVEIRA, João Vitor Fonseca de; SOUZA, Valtercio Dantas de. Veículos Elétricos: Histórias e seus benefícios. 2023.



OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). Evolução da Capacidade instalada no SIN - NOVEMBRO 2024/DEZEMBRO 2028. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY (REN21). Renewables 2020 Global Status Report. Disponível em: <<https://www.ren21.net/gsr-2020/>>. Acesso em 27 de outubro de 2024.

SABILLON, Andres L.; MEJÍA, Mario A.; FRANCO, John F. Um Modelo de Otimização Multiobjetivo para o Planejamento Ótimo de Infraestrutura de Carregamento de Veículos Elétricos.

SANTOS, Émerson Felipe Neves dos; VAZ, Caroline Rodrigues; MALDONADO, Mauricio Uriona. SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. 2023.

SEBRAE. Qual é a importância do ESG para as pequenas empresas? Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/qual-e-a-importancia-do-esg-para-as-pequenas-empresas,7a42f92d3c2a2810VgnVCM100000d701210aRCRD>>. Acesso em: 26 de outubro de 2024.

SILVA, Luís Carlos Pereira da. Carregamento residencial de veículos elétricos no Brasil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Rio de Janeiro, 27 a 30 de novembro de 2022.

UNEP. Relatório de Lacuna de Emissões 2020. Disponível em: <<https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>>. Acesso em: 27 outubro de 2024.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Acordo de Paris. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

VOOLTA. Incentivos para veículos elétricos no Brasil e Infraestrutura de recarga. Disponível em: ><<https://voolta.com.br/blog/incentivos-para-veiculos-eletricos-no-brasil-e-infraestrutura-de-recarga/>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

WEBBER, Aaron. Are Electric Cars Really Better for the Environment? 24/7 Wall St., 20 de outubro de 2024. Disponível em: <<https://247wallst.com/cars-and-drivers/2024/10/20/are-electric-cars-really-better-for-the-environment/>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

WOLFFENBÜTTEL, Rodrigo Foresta. Políticas setoriais e inovação: entraves e incentivos ao automóvel elétrico no Brasil. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/266550>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

WORLD BANK GROUP. Desvalorizações monetárias trazem risco de intensificação das crises globais de alimentos e energia. Disponível em:

<<https://www.worldbank.org/pt/news/press-release/2022/10/26/commodity-markets-outlook>>. Acesso em 27 de outubro de 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Air pollution. Disponível em: <[https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

*“Para o fechamento de notas foi dado maior peso na apresentação oral na feira tecnológica da Etecamp, com isso, levando-se em conta maior consideração de nota final pela defesa e demonstração da apropriação da pesquisa pelo grupo. Deixo assim registrado que embora possam haver pendências e alguns erros no artigo, seja de parte escrita ou norma, a avaliação levou em conta o desenvolvimento integral realizado pelos alunos, considerando inclusive como primeira experiência realizada em pesquisa científica sendo de nível do ensino básico” Prof. André Zanatto.*