

ARTIGO ORIGINAL

A implementação de veículos elétricos observada de maneira holística e sustentável

The implementation of electric vehicles looked at in a holistic and sustainable way

Lucas Papa de Sousa^{1*} & André Antonio Zanatto²

Avaliação: *Double Blind Review* (019/OJS)

Recebido: 23/12/2024 Aceito: 30/12/2024

Palavras-chave:

Veículos Elétricos;
Fontes
Renováveis;
Mobilidade
Sustentável;
Emissão CO₂.

Resumo: O presente artigo tem como objetivo demonstrar a necessidade de se observar a implementação de veículos elétricos na sociedade de maneira holística levando em consideração as necessidades estruturais da matriz energética e também os tipos de geração de energia a fim de destacar a importância da utilização de fontes que não emitam CO₂. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em artigos científicos, bem como em documentos de instituições públicas e privadas. A pesquisa permite concluir que é necessária uma ação conjunta entre o setor privado e o governo para viabilizar a estruturação da matriz energética, além de incentivar o desenvolvimento tecnológico e mercadológico dos veículos elétricos. Embora se observe um aumento significativo da quantidade de veículos elétricos na frota brasileira, as condições para abastecimento e aquisição deste bem ainda são limitadas, aspectos que justificam a necessidade de se realizar esta discussão.

Keywords:

Electric Vehicles;
Renewable
Sources;
Sustainable
Mobility;
CO₂ Emission.

Abstract: This article aims to demonstrate the need to observe the implementation of electric vehicles in society in a holistic way, taking into account the structural needs of the energy matrix and also the types of energy generation in order to highlight the importance of using sources that do not emit CO₂. A bibliographical search was carried out in scientific articles, as well as documents from public and private institutions. The research allows us to conclude that joint action between the private sector and the government is necessary to enable the structuring of the energy matrix, in addition to encouraging the technological and marketing development of electric vehicles. Although there is a significant increase in the number of electric vehicles in the Brazilian fleet, the conditions for supplying and purchasing this good are still limited, aspects that justify the need to carry out this discussion.

URL: https://mobicities.com/index.php/path/article/view/19/Artigo_2

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14579443>

^{1*} Autor correspondente: Etec de Campo Limpo Paulista, e-mail: lucas.sousa281@etec.sp.gov.br

² Etec de Campo Limpo Paulista, e-mail: andre.zanatto@etec.sp.gov.br

1. Introdução

Os veículos elétricos (VEs) têm ganhado cada vez mais destaque como uma solução viável para problemas graves de poluição do ar, além de apresentarem um potencial significativo para reduzir a dependência de combustíveis fósseis. De acordo com Carneiro (2018), a crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes do rápido desenvolvimento da civilização humana tornou-se um dos temas mais relevantes no contexto social e político global nos últimos anos. O setor de transportes possui grande parcela de responsabilidade na emissão de gases de efeito estufa (GEE), representando, de acordo com dados de 2019 apresentados por UNEP (2020), 24% das emissões globais.

Com a intenção de reduzir as emissões de GEE, o setor de transportes busca regularmente otimizar sua eficiência energética, tanto no transporte de pessoas e produtos quanto na eficiência mecânica e elétrica nos projetos de veículos. No entanto, a inserção dos veículos elétricos no mercado ainda é muito lenta e restrita, especialmente em países em desenvolvimento, onde a participação é inferior a 2% em comparação aos veículos a combustão. Além disso, a desconfiança das pessoas em relação às novas tecnologias também desempenha um papel na restrição da adoção de VEs. Outro ponto importante a ser discutido é que a insuficiência de infraestrutura pública para o carregamento das baterias compromete negativamente o interesse pelo uso desses veículos (Neto, 2019; Sabillon; Mejía; Franco, 2024).

De acordo com Oliveira (2010, p.10), "O empresário que cumpre seu papel social atrai mais consumidores e está investindo na sociedade e no próprio futuro". Além disso, o autor salienta que as empresas que tiverem foco em gestão ambiental, social e governança estarão a frente no mercado, uma vez que esta política empresarial pode possibilitar a redução de custos e o aumento de rentabilidade a médio e longo prazo. 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, pois ajuda a prevenir doenças como câncer de pulmão, acidentes vasculares cerebrais e pneumonias crônicas e agudas (Fernandes et al., 2010; Sebrae, 2023).

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, conta com 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. Comparado aos 44 mil veículos em 2020, isso representa um crescimento superior a 300% em menos de três anos. Esse aumento no mercado e na produção em massa tem tornado os veículos elétricos mais atraentes para os consumidores, que estão recebendo opções cada vez mais acessíveis. Além de apresentarem baixo custo de manutenção devido à menor quantidade de peças móveis e fluidos, os VEs devem alcançar preços equivalentes a veículos de motor a combustão interna (MCI) até o fim da década. A eletrificação da frota de veículos é uma alternativa eficiente para os modais logísticos, reduzindo custos e os efeitos negativos da poluição atmosférica, que representam uma séria ameaça à saúde e qualidade de vida da população (ABVE, 2024b; IEA, 2023; REN, 2020; Bloombergnef, 2024).

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. O Brasil ainda carece de políticas voltadas para o incentivo à popularização de automóveis elétricos e por este motivo a frota de automóveis nacional não possui um percentual significativo de veículos elétricos para redução de emissão de gases de efeito estufa. Essas lacunas dificultam a criação de um sistema tecnológico de inovação para veículos elétricos (ABVE, 2024a; Bloombergnef, 2024).

Nesse contexto, é necessário discutir políticas públicas e projetos de lei que visem contribuir para o desenvolvimento tecnológico e a implementação do uso de veículos elétricos na frota brasileira. 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).

Diante desse panorama, o presente artigo tem como objetivo compreender quais são os principais impactos na estrutura do sistema energético e na emissão de CO₂ com a implementação dos veículos elétricos, em comparação aos veículos movidos a combustíveis fósseis no Brasil.

2. Fundamentação Teórica

A história dos motores de combustão interna está conectada à Revolução Industrial, que começou com motores a vapor e depois levou à invenção do motor de combustão interna. Da mesma forma, a máquina a vapor, estudada no final do século XVIII, marca as primeiras etapas em direção à invenção de uma máquina que, mais tarde, funcionaria com o mesmo princípio de combustão. No entanto, um dos motores de combustão interna mais bem-sucedidos foi a última criação do motor mencionada anteriormente. O motor de combustão interna está na lista das melhores invenções da humanidade e foi criado em 1800; sendo uma verdadeira obra-prima. Um de seus usos mais comuns e poderoso é ser uma fonte de energia para veículos, ajudando a percorrer grandes distâncias em pouco tempo (Havens, 2015).

O primeiro motor de combustão interna foi inventado por um engenheiro chamado Étienne Lenoir. Lenoir inventou o motor a gás na década de 1860 e usou-o para alimentar um automóvel. Os carros de Lenoir eram geralmente ineficientes e malsucedidos. No entanto, a máquina foi inventada ou fabricada em 1800, e o engenheiro alemão Nikolaus Otto inventou o motor de combustão interna, inspirado no ciclo Otto, em 1876. Otto é uma referência importante quando falamos de engenheiros europeus. Rudolf Diesel inventou o motor diesel em 1893; e o diesel, assim como outros combustíveis, tem sido amplamente utilizado desde então. O motor à diesel é uma excelente máquina para exemplificar o princípio do motor a gásóleo, outro destaque da máquina de combustão interna (Havens, 2015).

O alemão Karl Benz foi o primeiro a construir um carro a gasolina movido por um motor de gasolina. Esse veículo também pode ser considerado o automóvel a motor mais antigo. 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 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 (Havens, 2015).

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 mundial de petróleo, 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 conforme ANP (2024). 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.

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 dos combustíveis e nos custos operacionais de setores como transporte e logística. 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), refletindo a infraestrutura consolidada para esses combustíveis e a lenta transição para alternativas sustentáveis (Anfavea, 2023).

Os veículos movidos a combustão interna são responsáveis por uma parte significativa das emissões de gases de GEE. Segundo Jaramillo (2022), o setor de transportes contribui com cerca de 14% das emissões de GEE, tendo o dióxido de carbono (CO₂) como principal poluente. No Brasil, o setor de transporte responde por 47% das emissões de CO₂, sendo a maior fonte de poluição urbana, conforme dados do IEMA (2023).

De acordo com EEA (2022), além das emissões de CO₂, os veículos a diesel emitem 2,6 vezes mais partículas finas do que os veículos a gasolina, contribuindo para a poluição atmosférica e problemas respiratórios. WHO (s.d.) defende, ainda, que a poluição do ar gerada por combustíveis fósseis está relacionada a milhares de mortes prematuras por ano em grandes centros urbanos no Brasil.

Embora os veículos movidos a combustíveis fósseis tenham impulsionado o desenvolvimento econômico, seus custos ambientais e de saúde pública tornam-se cada vez mais evidentes. No Brasil, a dependência desse modelo energético, apesar da crescente atenção às alternativas sustentáveis, ressalta 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 (ANP, 2024).

2.1 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 (Baran; Legey, 2011).

Foi apenas no final do século XX, em meio a crises do 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. Algumas desvantagens dos VEs estão relacionadas à autonomia das baterias, à velocidade de recarga e à sua duração, considerando os ciclos de carga e descarga e a vida útil (Carneiro, 2018).

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, do refino e combustão de combustíveis fósseis. 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 por fontes limpas de energia (Carneiro, 2018).

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, tem como principal objetivo reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa (Brasil, 2024).

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).

2.2 Matriz Energética

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. A geração hidrelétrica se destacou, apresentando um crescimento de 13% em relação ao ano anterior (Brasil, 2022; EPE, 2023).

A matriz divide-se em dois principais sistemas:

- Sistemas Isolados de Energia Elétrica (SIEE).
- Sistema Interligado Nacional (SIN).

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. 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 (ONS, 2024).

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 (ONS, 2024).

2.3 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. 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 (Brasil, 2024).

De acordo com dados apresentados por ABVE (2024b), 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, houve um aumento significativo de 105%. Atualmente, esses veículos alcançam 10% de participação na frota de veículos no país, avanço rápido, considerando que essa participação era de apenas 0,4% há um ano.

O governo brasileiro tem realizado ações por meio de projetos de lei para incentivar a implementação de veículos elétricos no país, contribuindo com a tendência mundial de fomento ao uso de veículos no setor de transporte com baixo ou nenhum índice de poluição atmosférica. Os impostos foram abolidos no caso de importação de carros elétricos com autonomia de 80 km após a realização de apenas uma carga. Na época, a cidade de São Paulo 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 do Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul também concederam desconto de 50%, e os estados do Piauí, Maranhão, Ceará, Sergipe, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte e Pernambuco instituíram isenção do IPVA para modelos elétricos. Atitudes como essas permitiram que a conscientização ambiental fosse difundida rapidamente. Em meio a esses aspectos, deve-se estudar seus impactos de forma a crescer de maneira organizada, bem estruturada e com baixos impactos ao meio ambiente (Wolffenbüttel, 2022).

2.4 Impactos Técnicos na Potência do Sistema Elétrico

Os VEs são inovações no tipo de carga inserida na distribuição de energia elétrica. Considerando a facilidade de carregamento residencial e o aproveitamento dos horários de não utilização do veículo, atualmente, no Brasil, os postos de

combustíveis continuam sendo 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, 2024).

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 que os VEs possam ser carregados de maneira eficiente e segura, sem comprometer a operação da rede elétrica e a autonomia dos veículos durante deslocamentos mais longos (PNME, 2023).

Ainda conforme aponta PNME (2023), o perfil de carregamento residencial de veículos elétricos no Brasil ocorre de forma lenta, com potências em torno de 3,5 kW. 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. Conforme os dados apresentados por PNME (2023), o uso de carregadores de estações de carregamento lenta e normal, com potência de 3,7 kW e 7,4 kW, ainda prevalece. No entanto, há uma tendência futura na adoção de tecnologias de recarga mais potentes, como as de 11 kW e 22 kW, classificadas como estações de recarga semirrápidas, que reduzem o tempo de recarga de 4 a 6 horas para 1,8 a 3,6 horas, podendo variar dependendo da eficiência do sistema e das condições de carregamento, diminuindo o impacto sobre a rede.

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;

2.5 Impacto ao Meio Ambiente – Emissão de CO₂

O setor de transportes é um grande consumidor de energia, bem como um dos principais agentes poluidores do país, sendo a principal causa de doenças cardiorrespiratórias. Aliado a isso, observa-se que o cenário nacional apresentava uma grande dependência energética do petróleo, incluindo a necessidade de importação. De acordo com a pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP), em 2014, essa estatística atingiu seu ápice. Segundo o IBP (2023), nesse contexto, o país começou a analisar e investir em outras fontes de geração 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, que demonstrou que, ao longo desses 10 anos, o Brasil alcançou uma queda na participação do petróleo e seus derivados na geração elétrica, passando de 39,2% para 35,1%. As mudanças apontadas indicam os avanços do país na diversificação e sustentabilidade da oferta energética nacional. A redução na dependência de fontes fósseis reflete o 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 (Anjos, 2019).

Conforme já mencionado, os VEs continuam a se destacar como uma alternativa sustentável para mitigar a emissão de poluentes e reduzir o 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 dos 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 melhorias na rede de distribuição. Além disso, a implementação dos VEs pode exigir uma interação complexa entre consumidores residenciais, comerciais e a geração distribuída (Santos; Vaz; Maldonado, 2023).

2.6 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 seja efetivamente transferida para as rodas, devido a perdas mecânicas e de fricção. Essas limitações são inerentes ao processo de combustão e aos componentes associados, como os 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 (Carneiro, 2018).

Há, contudo, um aspecto importante a ser considerado no uso dos VEs no âmbito da poluição sonora, que também oferece benefícios ambientais relevantes. Isso ocorre porque, além de reduzirem substancialmente as emissões de gases poluentes durante sua operação, esses veículos produzem ruídos praticamente imperceptíveis, contribuindo para a diminuição da poluição sonora (Carneiro, 2018).

Quanto à questão da emissão de CO₂, 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 milhão 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 CO₂, especialmente quando essa energia é proveniente de fontes não renováveis, como as termelétricas (ABVE, 2024a; Carneiro, 2018).

Para embasar esta análise, utilizou-se o artigo produzido por Carneiro (2018), intitulado “Impacto da Inserção de Veículos Elétricos no Sistema Elétrico de Potência Brasileiro”. 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 Carneiro (2018), é feita uma análise detalhada sobre as emissões de CO₂ 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 milhão de toneladas de CO₂ 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 CO₂ emitida por litro consumido são fatores críticos para avaliar os impactos ambientais dos veículos a combustão.

Carneiro (2018) também discute a importância da transição para os VEs. Embora esses veículos não emitam 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 as 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 a análise das emissões de CO₂ 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 (Carneiro, 2018).

3. Método

Este estudo foi elaborado por meio de pesquisa bibliográfica em artigos científicos, trabalhos acadêmicos, livros e fontes de instituições privadas e públicas, com o intuito de compreender os impactos estruturais da implantação de veículos elétricos, ou seja, identificar os diversos fatores que envolvem a implementação dos veículos elétricos na sociedade.

4. Resultados e Discussão

A pesquisa realizada por Carneiro (2018), que analisou os impactos técnicos e ambientais da inserção de VEs na frota nacional, foi fundamental para expor a necessidade de observar a implementação de veículos elétricos de maneira holística, destacando, sobretudo, quais os tipos de geração de energia elétrica mais sustentáveis. Na época, a autora 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 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) (Carneiro, 2019).

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.

5. Considerações finais

De forma geral, tanto o setor público quanto o privado precisam adotar uma visão mais ampla sobre como promover a inserção dos veículos elétricos na sociedade. Ainda falta avançar no desenvolvimento de tecnologias para gerar energia limpa, ou seja, que não emita CO₂, além de um maior apoio governamental para viabilizar toda a cadeia de agentes envolvidos nesse processo.

As questões ambientais deste século são urgentes, o que torna a discussão sobre o uso de veículos elétricos ainda mais relevante e necessária para garantir a preservação do planeta. Nesse contexto, este estudo reforça a importância de uma visão integrada sobre a sustentabilidade dos VEs, levando em conta as implicações técnicas, ambientais, sociais e econômicas no Brasil. O futuro da mobilidade sustentável no país depende não apenas da adoção de tecnologias mais limpas, mas também de um compromisso constante com a atualização da infraestrutura e da matriz energética, buscando sempre um equilíbrio entre inovação, eficiência e responsabilidade ambiental.

Referências

ABVE. Associação Brasileira de Veículos Elétricos. 94 mil eletrificados: 2023 bate todas as previsões. 2024a. Disponível em: <<https://abve.org.br/2023-supera-todas-as-previsoes-94-mil-eletrificados/>>. Acesso em: 27 de abril de 2024.

_____. Vendas de eletrificados leves de 2024 já ultrapassa, em julho, o total de 2023. 2024b. Disponível em: <<https://abve.org.br/vendas-de-eletrificados-em-2024-ja-ultrapassam-total-de->

2023/>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

Anfavea. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2023. 2023. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/wp-content/uploads/2023/05/anuário-ATUALIZADO-2023-ALTA_compressed.pdf/>. Acesso em: 27 de maio de 2024.

Anjos, Morjana Moreira dos et al. O papel das energias renováveis no processo de transição energética do estado de minas gerais: modelagem de sistemas energéticos para o horizonte 2030-2050. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30261/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_MorjanaFinal.pdf>. Acesso em 03 de julho de 2024.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Produção média nacional de petróleo e gás bate recorde em 2023. 2024. 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>. Acesso em: 31 de março de 2024.

Baran, Renato; LEGEY, Luiz Fernando Loureiro. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011., 2011. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil_P.pdf>. Acesso em 02 de abril de 2024.

Bloombergnef. Electric Vehicle Outlook 2024. 2024. Disponível em: <<https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>>. Acesso em: 01 de maio de 2024.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Geração hidráulica cresce em 2022 enquanto geração térmica cai. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/geracao-hidraulica-cresce-em-2022-enquanto-geracao-termica-cai>>. Acesso em: 02 de junho de 2024.

Brasil. Ministério dos Transportes. Frota de Veículos - 2024. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>>. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Acordo de Paris. [2024?]. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

Carneiro, Joana Laila Vital. Impacto da Inserção de Veículos Elétricos no Sistema Elétrico de Potência Brasileiro. 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/47727>>. Acesso em 27 de agosto de 2024.

EEA. European Environment Agency. ETC CM report 2022/02: Greenhouse gas intensities of transport fuels in the EU in 2020 - Monitoring under the Fuel Quality Directive. 2022. 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>. Acesso em: 21 de março de 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2023. 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2023>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

Fernandes, Juliana Santana et al. Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana. Rev. Med. Minas Gerais, v. 20, n. 1, p. 92-101, 2010. Disponível em: <<https://www.rmmg.org/artigo/detalhes/387>>. Acesso: 20 de outubro de 2024.

Havens, Joel. A brief history of the internal combustion engine. Vintage Machinery, 2015. Disponível em: <<http://wiki.vintagemachinery.org/A-Brief-History-of-the-Internal-Combustion-Engine.ashx>>. Acesso em 11 de maio de 2024.

IBP. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. Evolução do consumo aparente e da dependência externa. 2023. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/consumo-aparente-e-dependencia-externa/>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

- IEA. International Energy Agency. World Energy Outlook 2023. 2023. Disponível em: <<https://origin.iea.org/search/events?q=World%20Energy%20Outlook%202023>>. Acesso em: 20 de agosto de 2024.
- IEMA, Instituto de Energia e Meio Ambiente. Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2022. 2023. 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>>. Acesso em 20 de abril de 2024.
- Jaramillo, P. et al. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-10/>>. Acesso em: 24 de maio de 2024.
- Neto, Nelson Knak; PIOTROWSKI, Leonardo Jonas. Metodologia para Análise do Impacto do Carregamento Residencial de Veículos Elétricos. IEEE Latin America Transactions, v. 17, n. 6, p. 953-961, 2019. Disponível em: <<http://latam.ieceer9.org/index.php/transactions/article/download/1448/226>>. Acesso em 03 de maio de 2024.
- Oliveira, Gislene de. Responsabilidade social corporativa nas empresas. 2010. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/10012/1/9950492.pdf>>. Acesso em 05 de maio de 2024.
- ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Evolução da Capacidade instalada no SIN - NOVEMBRO 2024/DEZEMBRO 2028. 2024. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 27 de outubro de 2024.
- PNME. Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica. 3º Anuário Brasileiro de Mobilidade Elétrica: rumo à expansão do mercado, políticas e tecnologias no Brasil. 2023 Disponível em: <https://pnme.org.br/wp-content/uploads/2023/12/3o-Anuario-Brasileiro-de-Mobilidade-Elétrica.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2024.
- Ren21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables 2020 Global Status Report. Disponível em: <<https://www.ren21.net/gsr-2020/>>. Acesso em 11 de maio 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. Disponível em: <https://www.sba.org.br/cba2024/papers/paper_3040.pdf>. Acesso em 05 de agosto de 2024.
- Santos, Émerson Felipe Neves dos; VAZ, Caroline Rodrigues; MALDONADO, Mauricio Uriona. Sistema Nacional de Inovação de Veículos Elétricos no Brasil: Um Revisão Sistemática. 2023. CONBREPRO. XIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. IA nas Engenharias. Evento Online. Disponível em: <https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/2023/arquivos/10302023_141044_653fe9ace8b84.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2024.
- 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.
- UNEP. Relatório de Lacuna de Emissões 2020. Disponível em: <<https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>>. Acesso em: 27 outubro de 2024.
- Who. World Health Organization. Air pollution. s.d. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1>. Acesso em: 27 de outubro de 2024..
- Wolffenbüttel, Rodrigo Foresta. Políticas setoriais e inovação: entraves e incentivos ao automóvel elétrico no Brasil. Revista Brasileira de Inovação, v. 21, p. e022017, 2022. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/266550>>. Acesso em: 27 de julho de 2024.

Contribuição dos Autores:

Lucas Papa de Sousa: 1. Planejamento e delineamento do estudo; 4. análise de dados; 6. revisão das normas; André Antonio Zanatto: 7. supervisão do trabalho.