

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA – CCET
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA – DEQ

KARLLA BEATRIZ MIRANDA CALDEIRA

**Avaliação da Sustentabilidade de Veículos Elétricos no
Brasil**

SÃO CARLOS -SP
2024

KARLLA BEATRIZ MIRANDA CALDEIRA

Avaliação da Sustentabilidade de Veículos Elétricos no Brasil

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Diego Andrade Lemos

São Carlos-SP
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA – CCET
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA – DEQ

Folha de aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da candidata Karlla Beatriz Miranda Caldeira, realizada em 09/09/2024:

Prof. Dr. Diego Andrade Lemos
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. José Mansur Assaf
Universidade Federal de São Carlos

Me. Gabriel Baioni e Silva
Universidade Federal de São Carlos

AGRADECIMENTO

Essa jornada só foi possível com a somatória de esforços, a começar pelos meus pais, Elen e Luciano, que mais que me auxiliarem financeiramente, também foram ombro amigo e suporte quando a saudade de casa batia. Reconheço as dificuldades que enfrentamos e sou eternamente grata por me proporcionarem o acesso à universidade pública, gratuita e de qualidade.

Agradeço aos meus amigos de graduação, Isadora, Giovanna, Lucas e Natália, que se tornaram minha família em São Carlos e com quem compartilho tantas boas memórias. Nossos cafés da tarde, festas da IES, conversas e os momentos dentro ou fora da universidade tornaram essa jornada muito mais leve. Mesmo que morando em outras cidades, nossos laços e afeto permanecerão.

À Isabella, amiga de longa data que, mesmo à distância, se fez presente no meu dia a dia e compartilhamos tanto sobre a vida. Agradeço por cuidar tão bem da nossa “sequoia”.

Ao meu companheiro, João Pedro, que muito me ensinou sobre a vida. Sua escuta ativa, conselhos e encorajamento me ajudaram a enfrentar os desafios do caminho.

Aos meus colegas de trabalho, que me receberam como estagiária e compartilharam comigo seus conhecimentos e experiências. Agradeço por cada ensinamento, apoio e por contribuírem com o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos professores do Departamento de Engenharia Química, pela contribuição fundamental à minha formação. Em especial, ao meu orientador, Diego, que, nessa etapa final, acolheu a minha proposta de trabalho de graduação e me auxiliou com contribuições e direcionamentos. O processo foi mais fácil com o seu suporte e empatia.

RESUMO

Diante da atual crise climática e da necessidade de reduzir impactos ambientais, os veículos elétricos (VEs) têm ganhado espaço no mercado como uma solução sustentável para a redução de emissões de gases de efeito estufa e economia de combustível. Contudo, o simples uso de energia elétrica não garante, por si só, a redução de emissões de CO₂, sendo essencial considerar a fonte de geração dessa energia, especialmente em um cenário global onde a matriz energética é majoritariamente baseada em combustíveis fósseis, como petróleo e carvão. Este estudo tem como objetivo realizar uma análise crítica da viabilidade da eletrificação da frota nacional, considerando os pilares econômicos, sociais e ambientais. A análise se baseia na distância média percorrida pelos brasileiros com seus automóveis, utilizando o método “*bottom-up*” para estimar os impactos ambientais e a pegada ecológica. Adicionalmente, realizou-se um estudo de caso, onde a viabilidade da substituição de uma frota de veículos de uma metalúrgica no interior do estado de São Paulo foi avaliada com base em dados reais de distância anual percorrida e custos com combustível. O estudo revela que, no Brasil, devido à sua matriz energética predominantemente renovável, a substituição por VEs pode resultar em uma redução de até 96,4% nas emissões de CO₂ em comparação ao uso de gasolina. Economicamente, a adesão aos VEs no país é vantajosa apenas quando carregados em residências, proporcionando uma economia de até 78% em relação ao abastecimento com etanol. Nos eletropostos, a economia é de aproximadamente 22,8%. No entanto, o alto custo dos VEs ainda torna sua aquisição inviável para a maioria dos brasileiros, com o modelo mais barato em agosto/2024 custando o equivalente a 83 salários-mínimos.

Palavras-chave: sustentabilidade; meio ambiente; combustíveis; veículos elétricos.

ABSTRACT

Amid the current climate crisis and the need to reduce environmental impacts, electric vehicles (EVs) have gained market traction, promoted as a sustainable solution for reducing greenhouse gas emissions and saving on fuel costs. However, the mere use of electricity does not, by itself, guarantee a reduction in CO₂ emissions, making it essential to consider the source of this energy, particularly in a global context where the energy matrix is predominantly based on fossil fuels, such as oil and coal. This study aims to critically analyze the feasibility of electrifying the national fleet, considering economic, social, and environmental pillars. The analysis is based on the average distance traveled by Brazilians, using the bottom-up method to estimate environmental impacts and the ecological footprint. Additionally, a case study was conducted, where the feasibility of replacing a vehicle fleet of a metallurgical company in the interior of São Paulo state was evaluated based on real data on annual distance traveled and fuel costs. The study reveals that in Brazil, due to its predominantly renewable energy matrix, the switch to EVs could result in up to a 96.4% reduction in CO₂ emissions compared to gasoline use. Economically, the adoption of EVs in the country is advantageous only when charged at home, providing up to 78% savings compared to ethanol refueling. At public charging stations, the savings are approximately 22.8%. However, the high cost of EVs still makes their acquisition unfeasible for most Brazilians, with the cheapest model in August/2024 costing the equivalent of 83 minimum wages.

Keyword: Sustainability; environment; fuels; electric vehicles.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Emissão média de CO ₂ na produção de eletricidade por fonte de geração	20
Figura 2: Emissões de GEE por setores de energia no ano de 2022.....	21
Figura 3: Matriz Energética Nacional – 2023	21
Figura 4: Matriz Elétrica Nacional – 2023	22
Figura 5: Matriz Energética Mundial no ano de 2021	23
Figura 6: Categorias de Consumidores de Energia – 2023.....	23
Figura 7: Pegada Ecológica <i>Percapta</i> por País.....	39
Figura 8: PE Humana por Atividade.....	40
Figura 9: Custo anual de recarga de VE's	46
Figura 10: Fatores de emissão de CO ₂ em g/km.....	46
Figura 11: Custo anual de abastecimento por combustível	53
Figura 12: Emissões de CO ₂ anual por combustível utilizado.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados obtidos com o aumento da eficiência energética veicular (2011 – 2017)	27
Tabela 2: Licenciamento de Carros Novos (2016 – 2023)	29
Tabela 3: Rendimento Automóveis à Combustão	36
Tabela 4: Rendimento Automóveis Elétricos	36
Tabela 5: Fatores de Emissão de Combustíveis, referente ao ano de 2022	37
Tabela 6: Emissões de CO ₂ para veículos à combustão	43
Tabela 7: Emissões de CO ₂ para veículos elétricos deslocando-se na cidade/estrada	44
Tabela 8: Gastos com combustível - Etanol	44
Tabela 9: Gastos com combustível - Gasolina	45
Tabela 10: Consumo energético e gasto com recarga – Veículos Elétricos	45
Tabela 11: Frota de veículos e rendimento médio - Gasolina	49
Tabela 12: Frota de veículos e rendimento médio - Etanol	51
Tabela 13: Somatória de dados estimados para diferentes abastecimentos da frota	52
Tabela 14: Frota de veículos e rendimento médio - VEs	52
Tabela 15: PE por combustível	55

LISTA DE SIGLAS

ABEIFA – Associação Brasileira das Empresas Importadoras e Fabricantes de Veículos Automotores

ABVE – Associação Brasileira do Veículo Elétrico

AEA – Associação Brasileira de Engenharia Automotiva

ANEEL – Associação Nacional de Energia Elétrica

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ASSOBRAV – Associação Brasileira Dos Distribuidores Volkswagen

BEN – Balanço Energético Nacional

CO₂ – Dióxido de carbono

COPs – *Conferente of the Parties*

dB – decibel

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EUA – Estados Unidos da América

GEE – Gases de Efeito Estufa

Gha – Global Hectares

GW – Gigawatt

HEV – Veículos Híbridos

IBGE – Nome por extenso

IBTP – Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação

IEA – *International Energy Agency*

iNDC – Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

Kg – Quilogramas

KWh – Kilowatt-hora

MCI – Ministério das Comunicações e da Informação

MCI – Veículos movidos a combustão interna

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

MMA – Nome por extenso

Mover – Mobilidade Verde e Inovação

MWh – Megawatt-hora

OIE – Oferta Interna de Energia

ONU – Organização das Nações Unidas

PBEV – Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular

PHEV – Veículos Híbridos plug-in

PIB – Produto Interno Bruto

PROÁLCOOL – Programa Nacional do Alcool

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

Ton – Toneladas

U.E.C. – Utilitário Esportivo Compacto

VE – Veículos Eléctricos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 O SURGIMENTO E DESENVOLVIMENTO DOS AUTOMÓVEIS	13
2.1.1 Veículos Movidos à Vapor	14
2.1.2 Veículos Elétricos	15
2.1.3 Veículos a Combustão Interna	15
2.2 A ASCENÇÃO DO MOTORES A COMBUSTÃO	16
2.3 PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL.....	16
2.3.1 Contenção de mudanças climáticas	17
2.3.2 Retorno dos veículos elétricos	18
2.4 PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL.....	19
2.4.1 Impacto do setor de transportes no efeito estufa	20
2.5 INFRAESTRUTURA E O USO DO CARRO ELÉTRICO NO BRASIL.....	21
2.5.1 Matriz elétrica e matriz energética	21
2.5.2 Infraestrutura elétrica	24
2.5.3 Pontos de recarga	24
2.6 INCENTIVOS BRASILEIROS AO SETOR AUTOMOBILÍSTICO	25
2.6.1 Proálcool	25
2.6.2 Programa Inovar-Auto	26
2.6.3 O Programa Rota 2030	27
2.6.4 O Programa Mover	28
2.7 CARROS ELÉTRICOS – CENÁRIO ATUAL.....	29
2.7.1 Brasil	29
2.7.2 Noruega	31
2.7.3 China	31
2.7.4 Poluição Sonora	32
2.8 NOVO MERCADO	33
3 OBJETIVOS	33
3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	33
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
4 METODOLOGIA	34
4.1. MÉTODO “ <i>BOTTOM-UP</i> ”	34
F_{emiss}: Fator de emissão de CO₂ (t CO₂/Wh);	35
4.1.1. Distância média percorrida pelos brasileiros anualmente	35

4.1.2. Eficiência média de veículos por categoria	36
4.1.3. Análise Dimensional.....	37
4.1.3.1. Fator de Conversão.....	37
4.2 VALOR MÉDIO DE COMBUSTÍVEIS	38
4.3 CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR.....	38
4.4. PEGADA ECOLÓGICA	38
4.5. MÉTODO DE CÁLCULO	40
4.6. SALÁRIO-MÍNIMO BRASILEIRO E PODER DE COMPRA DE AUTOMÓVEIS	41
5 RESULTADOS	42
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
7 ESTUDO DE CASO	49
8 CONCLUSÃO	56

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a redução dos impactos ambientais, especialmente a emissão de gases de efeito estufa provenientes das atividades diárias, encontrou na eletrificação da frota de veículos uma alternativa viável para alcançar esse objetivo. Este movimento é impulsionado pelo Acordo de Paris, firmado em 2015 na 21ª *Conference of the Parties* (COP), responsabilizando os países e governantes a mitigarem o aquecimento global, limitando o aumento da temperatura média global em 2 °C. (DO COUTO et al., 2022).

Embora os veículos elétricos (VEs) tenham surgido no século XIX, sua adoção foi superada por questões políticas e limitações de desempenho e autonomia em relação aos veículos a combustão. No entanto, devido a questões ambientais, de saúde pública e ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis, os VEs estão retornando ao mercado.

A sustentabilidade da eletrificação da frota é frequentemente questionada, considerando que a matriz energética mundial é majoritariamente composta por combustíveis fósseis, como petróleo e carvão mineral. Essa realidade gera incertezas sobre a eficácia da eletrificação na redução das emissões de gases de efeito estufa (Van Mierlo et al., 2017),

Este estudo visa avaliar a viabilidade da eletrificação da frota no Brasil, comparando-a com a situação de outros países, considerando aspectos sociais, econômicos e de sustentabilidade. Foram analisadas as médias das emissões de CO₂, os custos com combustíveis para diferentes tipos de veículos e fontes, e o custo de aquisição. A análise desses parâmetros pretende oferecer uma visão crítica sobre a substituição da frota de veículos a combustão, considerando os impactos sociais, econômicos e ambientais.

Por fim, foi realizado um estudo de caso, em termos de redução de emissão de CO₂, gastos com combustível e pegada ecológica, avaliando a substituição de uma frota pertencente a uma metalúrgica situada no interior do Estado de São Paulo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O SURGIMENTO E DESENVOLVIMENTO DOS AUTOMÓVEIS

O automóvel é um meio de transporte considerado uma inovação transformadora e única (MOWERY, ROSENBERG, 2005), trazendo consigo mudanças significativas no que se

diz respeito a rotina, ritmo de vida das pessoas, e velocidade de deslocamento de um local a outro (BARASSA, 2015).

Tem-se que o primeiro veículo motorizado foi construído durante a revolução industrial, em 1801, no entanto, esse meio de locomoção só chegou ao Brasil em 1891, importado da França por Alberto Santos Dumont. Tratava-se de um Peugeot Type 3 (LEITE, 2018).

De início, o avanço da frota no país se deu a passos lentos, pois, apesar de se tratar de um grande avanço tecnológico, a população não havia motivos para adquiri-los, se não pelo status, visto que o transporte urbano era atendido por bondes ou charretes e a população transitava a pé (LEITE, 2018)

Pouco mais de uma década depois, em 1904, somavam-se 84 veículos registrados pela Inspetoria de Veículos (YAMAWAKI, 2013). Em contrapartida, após um século, em 2022, o Brasil contava com 60.459.290 veículos (IBGE, 2022).

Atualmente, o setor automobilístico é de grande importância para o país, representando cerca de 22% do PIB industrial. Os investimentos no setor continuam, com o objetivo de promover o crescimento do setor automobilístico junto à descarbonização do transporte, por meio do desenvolvimento de novos veículos híbridos, com destaque aos veículos híbridos a etanol, que se encaixam à realidade brasileira, além de veículos elétricos e movidos a hidrogênio verde. Segundo a ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), diversas montadoras anunciaram planos de investimentos no Brasil de 2024 a 2030 (LAFIS, 2017). Em 2023, foram vendidos aproximadamente 2,2 milhões de veículos no país. (FENAVRAVE, 2024).

Historicamente, os investimentos no setor automotivo foram de grande importância para o seu desenvolvimento, promovendo inúmeras transformações ao longo dos anos, principalmente quanto aos seus diferentes tipos de motores, apresentando suas vantagens e desvantagens econômicas e de desempenho, sendo eles: à vapor, elétricos e à combustão interna.

2.1.1 Veículos Movidos à Vapor

Construído durante a revolução industrial, no século XIX, pelo engenheiro inglês Richard Trevithick, utilizando a máquina a vapor, essa tecnologia representou um grande avanço tecnológico para o período e foi utilizada em automóveis por cerca de 30 anos (BARASSA, 2015).

Esses veículos utilizavam o querosene como combustível e conquistavam o mercado por serem mais rápidos e baratos quando comparados aos demais, no entanto, demandavam um longo tempo e aquecimento prévio à partida, além de pausas durante o trajeto para reposição de água (BARASSA, 2015).

A ascensão desses veículos no mercado estadunidense é justificada pela superioridade de tecnologia e facilidade de obtenção de componentes presentes na construção desses automóveis, similares aos bondes elétricos, o principal meio de locomoção para os grandes centros na época (BARASSA, 2015).

2.1.2 Veículos Elétricos

Em meados do século XIX, o professor holandês Stratingh e Christopher Becker, seu assistente, construíram o primeiro veículo elétrico a partir do princípio da pilha de Alessandro Volta que fora criada em 1800. O veículo em questão empregava eletricidade para produzir rotação, onde uma pilha que era usada como fonte de energia do sistema, acionava o motor que estava acoplado às rodas (CHAN, 2013). Mais adiante, Gaston Planté desenvolveu a bateria chumbo-ácido, sendo uma contribuição de extrema relevância para o desenvolvimento do automóvel, pois permitia o processo de carga e descarga repetidas vezes, a qual foi posteriormente utilizada pelo engenheiro francês Gustave Trouvé, no primeiro veículo elétrico alimentado por bateria recarregável (MENA, 2020).

Por se tratar de uma tecnologia recente à época, os veículos elétricos (VEs) apresentavam baixa autonomia devido à baixa capacidade de armazenamento de energia de suas baterias, no entanto, devido ao seu elevado custo, eram voltados ao público de alto poder aquisitivo (NETO, 2021).

Os VEs, assim como atualmente, ganhavam espaço devido à baixa emissão de ruído, além da ausência de vibrações e a não existência de marchas (BARAN; LEGEY, 2011).

2.1.3 Veículos a Combustão Interna

O primeiro veículo a combustão, sendo o modelo mais popular atualmente, surgiu na mesma época dos veículos elétricos (MARCEL, 2016), em meados do século XIX, desenvolvido pelo engenheiro alemão Karl Friedrich Michael Benz (BARASSA, 2015).

Os veículos movidos a combustão interna (MCI) apresentavam autonomia para longas viagens sem a necessidade de pausas, no entanto, seu custo era elevado e o sistema de partida era realizado a manivela, dificultando o processo (BARASSA, 2015).

2.2 A ASCENÇÃO DO MOTORES A COMBUSTÃO

Os “prós” e os “contras” de cada automóvel foram decisivos para a ascensão e dominação do mercado por parte dos MCI. A indústria do MCI oferecia suporte rápido aos problemas técnicos iniciais dos veículos, o que não era obtido pelos consumidores de veículos a vapor e elétricos. Os veículos a vapor perderam mercado devido ao aquecimento inicial necessário antes da partida, que utilizava uma grande quantidade de água, ocasionando em seu desaparecimento no início do século XX. Os VEs, devido a primitividade das baterias utilizadas e sua baixa capacidade de armazenamento, encontravam como empecilhos o baixo desempenho em estradas íngremes e a baixa velocidade máxima (COWAN e HULTÉN, 1996).

Além dos pontos negativos apresentados anteriormente pelos outros tipos de motores dos automóveis, um fator que impulsionou o mercado de MCI foi a identificação de reservas a petróleo no Texas, estado dos Estados Unidos, no início do século XX. A descoberta resultou no barateamento da gasolina e o aumento da disponibilidade do combustível. Outro fator decisivo foi o avanço de postos de abastecimento, que não foi acompanhado pela rede elétrica (ANDERSON E ANDERSON, 2004).

Ademais, Henry Ford (1863 - 1947), fundador da Ford Motor Company, teve um papel relevante para a ascensão dos veículos MCI, promovendo a produção desses automóveis em massa e com valores acessíveis, além de peças intercambiáveis que facilitavam a manutenção dos automóveis. Em comparação com os investimentos de compra, havia uma diferença significativa, onde, em 1912, os VEs estavam sendo vendidos por valores entre US\$ 1.750 e US\$ 3.000, enquanto os MCI estavam sendo comercializados por US\$ 650 (ANDERSON E ANDERSON, 2004).

Nesse cenário, no século XX, os VEs perderam espaço para os MCIs, sendo fabricados apenas por encomendas ou em situações adversas, como a Segunda Guerra Mundial, que, devido à escassez de gasolina no período, a frota japonesa voltou a contar com a participação de VE (WESTBROOK, 2001).

2.3 PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL

As discussões a respeito dos impactos ambientais causados pelos automóveis começaram a surgir em meados de 1960, vislumbrando os VEs como alternativas sustentáveis, no contexto em que o chumbo era empregado como aditivo na gasolina e não havia a disponibilidade de filtros de partículas para conter as emissões dos veículos (ANDERSON e ANDERSON, 2004).

Atualmente, a busca por alternativas sustentáveis e combustíveis de fontes renováveis está em evidência, tornando necessária formas de energia alternativas que resultem na menor emissão de gases de efeito estufa (MENDONÇA et. al., 2023).

O setor automobilístico possui grande dependência de combustíveis fósseis (BARASSA, 2015) e tem sido objeto de vasto estudo, visto a possibilidade de eletrificação do setor. A Organização das Nações Unidas (ONU) busca desde o ano de 1972 e a Conferência da Terra de Estocolmo, o diálogo entre os países a fim de conter as mudanças climáticas resultantes das ações dos seres humanos (DO COUTO et al., 2022).

2.3.1 Contenção de mudanças climáticas

A ONU promove anualmente o COPs (*Conferente of the Parties*) desde o ano de 1992. Dentre as 28 COPs ocorridas até o primeiro semestre de 2024, duas se destacam pelas metas globais de contenção de mudanças climáticas firmadas: a ocorrida em 1997 na cidade de Kyoto (Japão) e recentemente a COP 21 ocorrida em 2015 na cidade de Paris (França) (DO COUTO et. al., 2022).

O Protocolo de Kyoto buscou estabelecer metas de redução de poluição proveniente da queima de combustíveis fósseis. Nesse acordo, os países industrializados deveriam se comprometer com metas de redução estabelecidas, enquanto países em desenvolvimento não (SILVA et al., 2017). O protocolo não atingiu os objetivos esperados e dois motivos podem estar relacionados a esta situação. O primeiro porque os EUA (um dos maiores poluidores do mundo) não firmaram o acordo e o outro devido ao escopo de geração de CO₂ limitar-se a queima de combustíveis fósseis, desconsiderando outras formas de geração (DO COUTO et. al., 2022).

Duas décadas depois, na COP 21 foi firmado o Acordo de Paris, documento que estabelece a responsabilidade de todos os países na mitigação das mudanças climáticas. Esse acordo estabeleceu métricas diferentes de redução de GEE (Gases de efeito estufa), sendo mais rigorosas com países desenvolvidos e mais poluentes, mas contando com a contribuição de países emergentes e subdesenvolvidos (DO COUTO et. al., 2022).

Este acordo apresentado em 2015 resultou no comprometimento entre os países e seus governantes a tomarem ações para mitigar o aquecimento global, com o objetivo de limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2 °C, tendo como referencial os níveis pré-industriais (MCTI, 2021). Os países envolvidos construíram seus próprios compromissos com o Acordo, considerando suas particularidades sociais e econômicas, sendo denominada

“Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas” (iNDC, na sigla em inglês). Desse acordo, intensificaram-se as ações de mitigação da emissão de gases causadores do efeito estufa, abrindo mercado novamente para os veículos elétricos.

O Brasil comprometeu-se, em seu iNDC, a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025, em comparação com os níveis de 2005. Como ações para o feito, o país se comprometeu em aumentar em 18% a capacidade de bioenergia em sua matriz energética até 2030, juntamente com o aumento da participação das fontes de energia renováveis para 45% na matriz (MMA, 2020).

2.3.2 Retorno dos veículos elétricos

Após a crise do petróleo em 1973 que resultou no aumento repentino e exacerbado desse combustível, as pesquisas, desenvolvimento e produção de veículos elétricos voltaram a crescer (BARASSA, 2015). Pode-se destacar três fatores que influenciaram neste retorno: o preço dos combustíveis fósseis, preocupação ambiental e saúde pública. Devido a esse crescimento, há uma variedade de tipos de VEs que serão explicados e classificados conforme as características apresentadas em cada um.

Os veículos elétricos podem ser divididos em: veículos puramente elétricos, que dispõem de bateria para o armazenamento de energia, e os veículos híbridos (HEV), que possuem motores combinados, elétrico e com combustão interna. Os veículos híbridos possuem, ainda, uma subdivisão, apresentadas a seguir:

- Híbridos: o motor a propulsão pode ter como função apenas o carregamento da bateria, ou contribuir juntamente com o motor elétrico e, ao mesmo tempo, recarregar as baterias.
- Híbridos plug-in (PHEV): possuem motores a combustão, entretanto, podem ter suas baterias carregadas quando conectados à rede elétrica.

No Brasil, a autonomia dos veículos é medida pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), o qual classifica o desempenho obtido de A à E, sendo “A” os veículos de menor gasto energético e “E” os de maior gasto energético. A média de autonomia dos VEs vendidos no país é de 300 quilômetros para cada recarga completa da bateria.

Segundo o relatório publicado em fevereiro de 2024, o VE de menor autonomia na categoria “médio” é o modelo E2008, da fabricante francesa Peugeot, que percorre até 234 quilômetros por recarga completa da bateria. Esse modelo recebeu a classificação “A” (PBEV,

2024). O modelo BOLT, da montadora norte-americana Chevrolet, apresentou melhor desempenho, percorrendo até 390 quilômetros por recarga completa da bateria e foi classificado com consumo “A” de energia (PBEV, 2024).

Considerado elemento central dos VE's e componente de maior custo, espera-se das baterias um grande desenvolvimento em melhorias em relação aos modelos atuais. Reduzir o custo por quilômetro percorrido nas baterias lítio-íon é um dos principais desafios (RODRÍGUES e CONSONI, 2020). Ademais, esse item representa aproximadamente um terço do custo total do veículo (RANDALL, 2016).

Entre os anos de 2010 e 2018, o custo da bateria íon-lítio apresentou queda de 85%, além de, entre 2015 e 2020, triplicar a capacidade de produção do item (GOLDIE-SCOT, 2019). Essa mudança se deve ao investimento em pesquisa e desenvolvimento, resultando em uma bateria de maior densidade energética, melhoria no design, montagem e cátodos (LUTSEY; NICHOLAS, 2019).

2.4 PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL

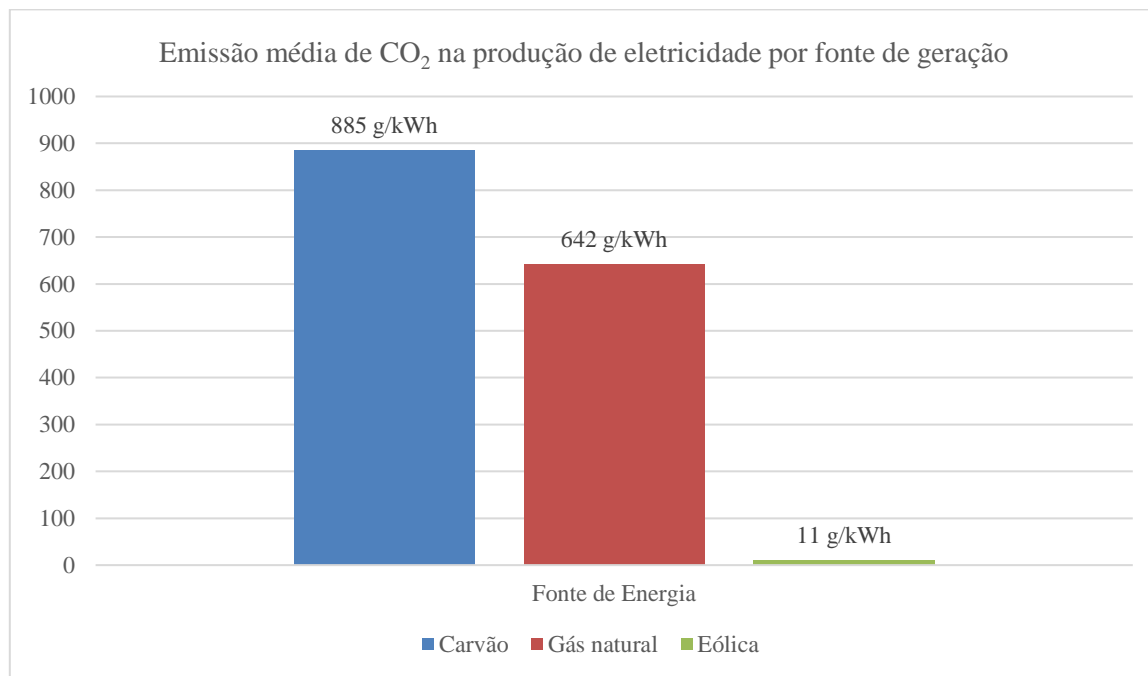
Dado o acordo de Paris, tem-se notado a movimentação dos países para conter o avanço da crise climática. Segundo a *International Energy Agency* (IEA), a eletrificação dos automóveis é a tecnologia chave para a redução da emissão de carbono do setor rodoviário. A venda de veículos elétricos tem aumentado consideravelmente, sendo liderada pela China, que representou aproximadamente 60% da aquisição de veículos elétricos globais. Em 2022, 29% da frota chinesa era elétrica (IEA, 2023).

Há um entendimento que os veículos convencionais são ineficientes energeticamente, onde cerca de 16% da energia disponível no combustível é utilizada para a locomoção no veículo (BARAN, 2012). Sabe-se também que no motor a combustão, aproximadamente 60% da energia do combustível é perdida por atrito, condições aerodinâmicas e térmica (Kobayashi et al., 2009). Segundo Baran (2012), a eletrificação da frota brasileira resultaria na redução de 40,7% no consumo de gasolina até 2031, juntamente com o aumento de 42,1% no consumo de eletricidade.

Van Mierlo et al. (2017), entretanto, apresentam questionamentos em relação à sustentabilidade dos VEs, onde os impactos ambientais causados são, em sua maioria, resultantes da fonte de eletricidade utilizada, como: gás, carvão, biomassa e solar. A redução dos impactos pode ser promovida pela adoção de energia elétrica de origem renovável. As emissões médias de CO₂ resultantes da produção de eletricidade a partir de diferentes fontes

são apresentadas na Figura 1 a seguir.

Figura 1: Emissão média de CO₂ na produção de eletricidade por fonte de geração



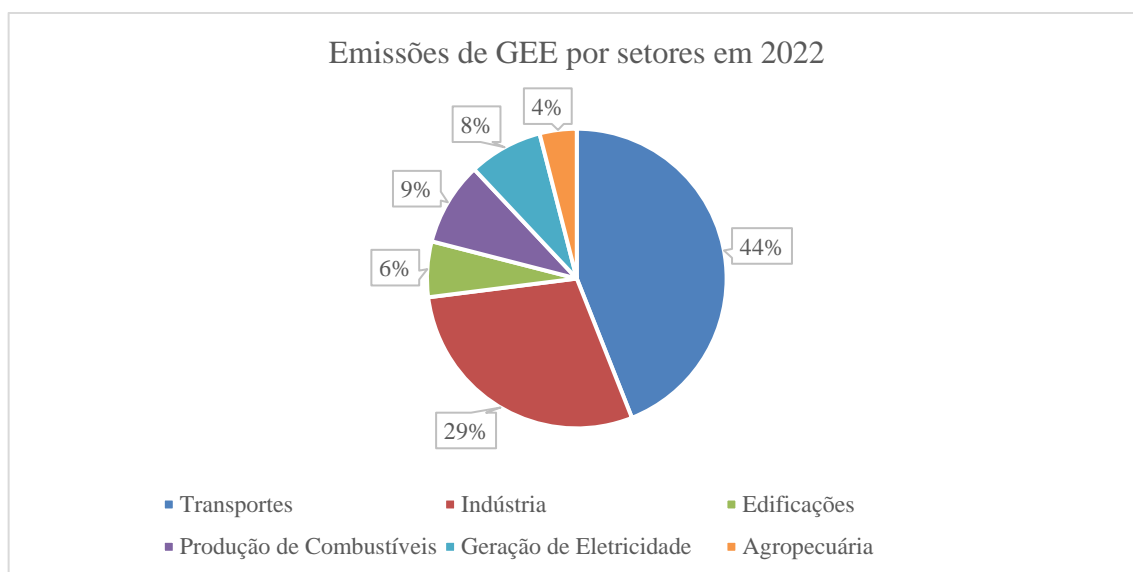
Fonte: Adaptado de Van Mierlo et al. (2017).

2.4.1 Impacto do setor de transportes no efeito estufa

Van Mierlo et al. (2017) apontam que as emissões de CO₂ provenientes da fabricação de VEs são maiores que do MCI. Essa diferença se deve à construção da bateria de lítio e seus componentes elétricos associados. Entretanto, a reciclagem das baterias desempenha um papel fundamental na compensação das emissões geradas em sua confecção.

Segundo o SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa), em 2022 o setor de transportes foi responsável pela emissão de 216,9 MtCO₂, representando 44% das emissões do setor de energia. Nesse escopo, o segundo maior emissor de GEE é o setor industrial (29%), seguido do setor de produção de combustíveis (9%). Os dados são apresentados na Figura 2 a seguir.

Figura 2: Emissões de GEE por setores de energia no ano de 2022



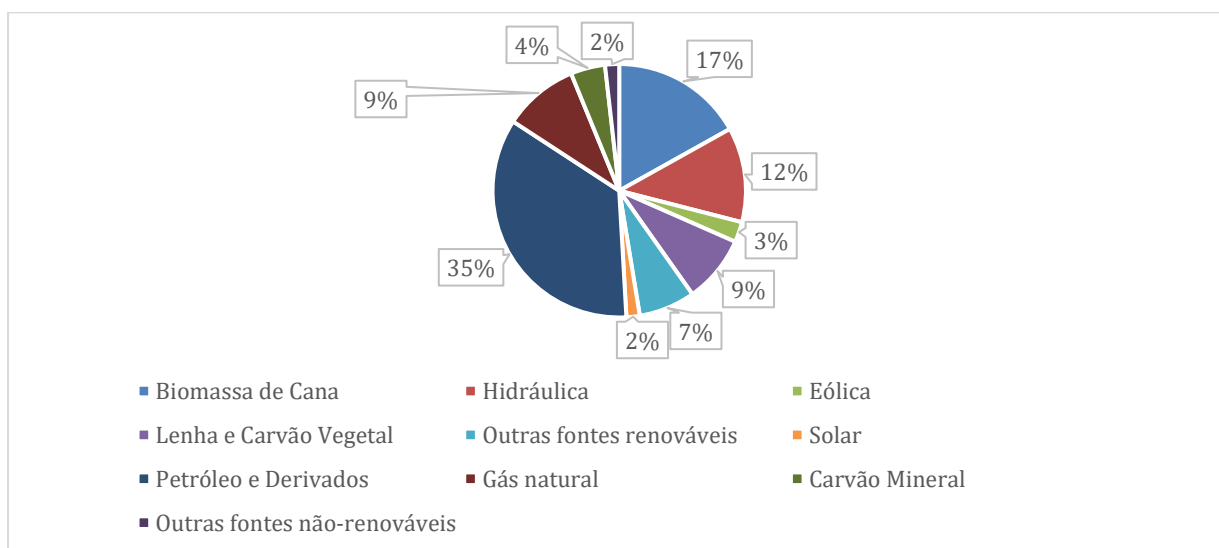
Fonte: Adaptado de SEEG, 2022

2.5 INFRAESTRUTURA E O USO DO CARRO ELÉTRICO NO BRASIL

2.5.1 Matriz elétrica e matriz energética

A matriz energética engloba as fontes de energia que são utilizadas para diversos setores, desde gás de cozinha à geração de eletricidade. A Oferta Interna de Energia (OIE) divide-se em diferentes origens, sendo 49,1% de fonte renovável e 50,9% não renovável. No ano de 2023, o Brasil produziu 3,05 trilhões de kWh em sua matriz energética. A composição da matriz energética nacional é apresentada na Figura 3 a seguir.

Figura 3: Matriz Energética Nacional – 2023

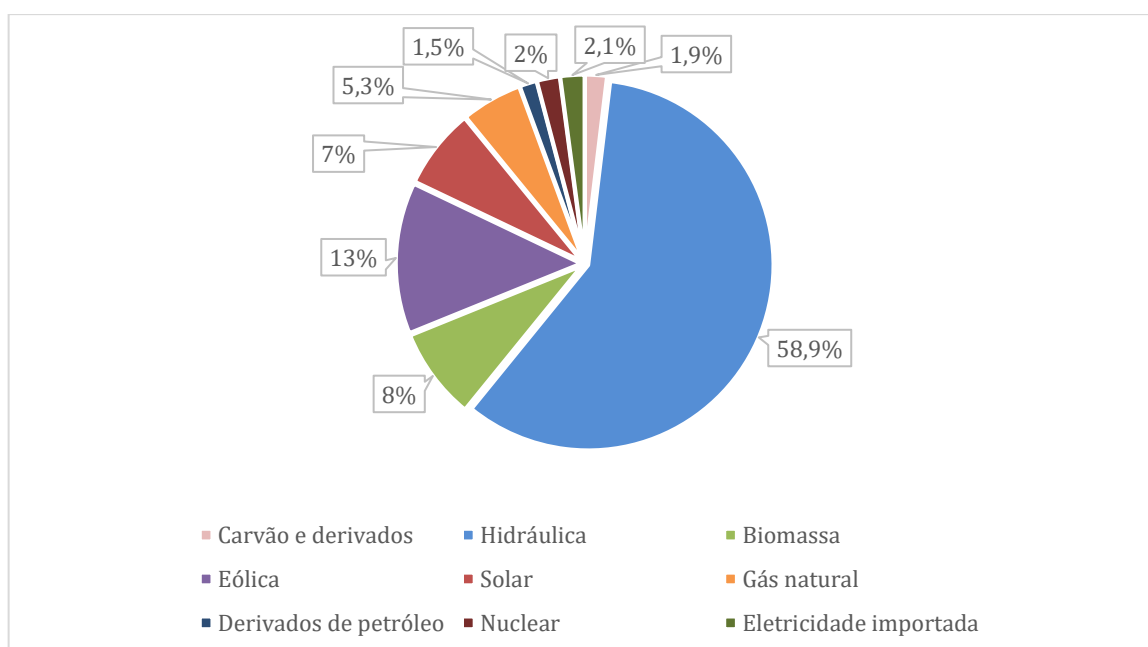


Fonte: Adaptado de EPE (2024)

A matriz elétrica, por sua vez, consiste em fontes utilizadas para a geração de energia elétrica (EPE, 2023). Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entre 2022 e 2023, o potencial de produção de energia elétrica no Brasil aumentou em 4,8%, tendo grande contribuição das usinas hidrelétricas. O setor de energia solar tem demonstrado grandes avanços, visto que em 2023 houve um aumento de 54,8% de capacidade de geração de energia proveniente de novas instalações de painéis solares.

O Brasil conta com uma matriz elétrica majoritariamente de fonte renovável e, com o aumento da capacidade de geração de energia solar e hidráulica. A produção total de energia elétrica no ano de 2023, segundo a EPE (2024), foi de 723,2 TWh. A composição da matriz elétrica nacional no ano de 2023 é apresentada na Figura 4.

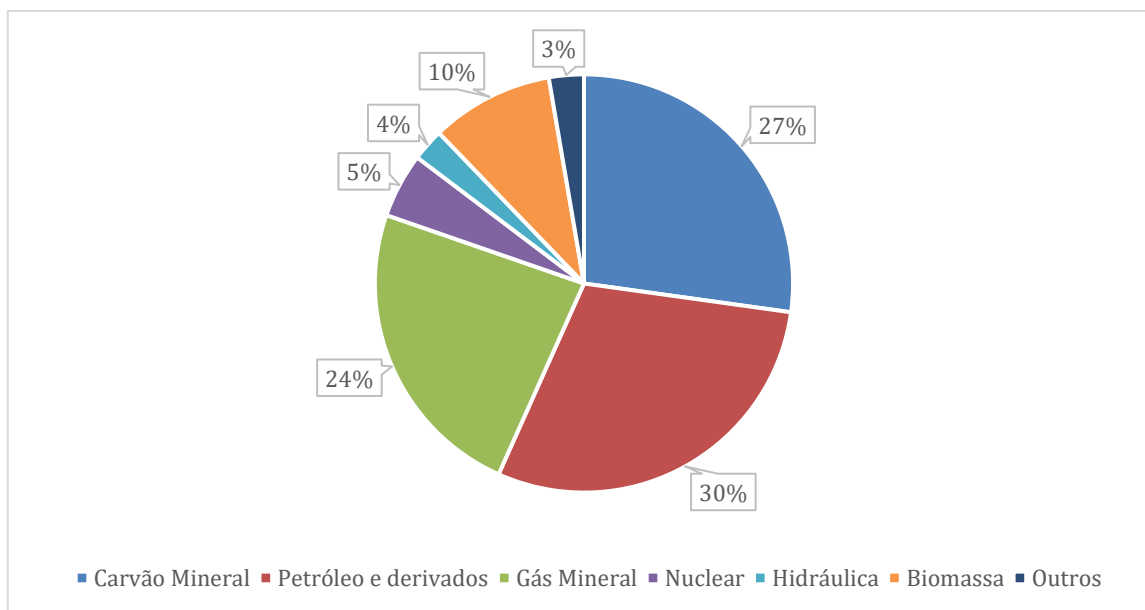
Figura 4: Matriz Elétrica Nacional – 2023



Fonte: Adaptado de EPE, 2024

A matriz energética mundial, entretanto, não apresenta o mesmo perfil, sendo composta, principalmente, por fontes não renováveis, conforme pode ser visto na Figura 5.

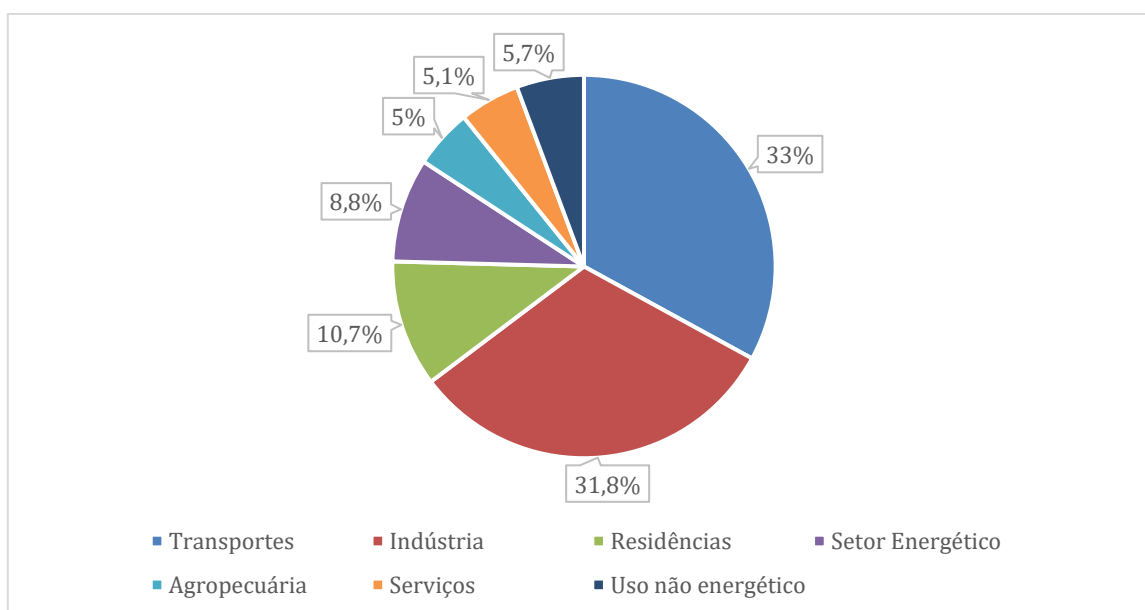
Figura 5: Matriz Energética Mundial no ano de 2021



Fonte: Adaptado de IEA, 2023

O relatório de Balanço Energético Nacional (BEN) do ano de 2023 apresentou que do consumo total de energia do país, 64,8% foram destinados ao transporte de carga e ao setor industrial. As categorias de consumidores e seus percentuais de consumo são apresentados na Figura 6 a seguir.

Figura 6: Categorias de Consumidores de Energia – 2023



Fonte: Adaptado de EPE, 2024

Ademais, de acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2024), o consumo final de energia elétrica no Brasil foi de 616,3 TWh.

2.5.2 Infraestrutura elétrica

A existência de veículos puramente elétricos requer investimentos de infraestrutura, incluindo postos de recarga, sistemas e geração de energia elétrica e uma rede de recarga apropriada. Uma vez que o tempo de recarga desses veículos é longo, com um tempo entre 6 e 12 horas. (JATOBÁ, 2014).

Segundo Neto (2021), a implementação de VEs no país, demanda um sistema de distribuição de energia com cabos significativamente mais resistentes do que aqueles utilizados nos dias de hoje. Em 2023, a capacidade instalada no Brasil alcançou 206 GW, representando uma geração de 1.807 TWh, no entanto, essa somatória não inclui os sistemas de geração centralizada, como os painéis solares instalados em residências (ANEEL, 2024). Entretanto, da capacidade instalada, apenas 68 GW foram efetivamente utilizados para a geração de energia elétrica (EPE, 2024). Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2024), a geração de energia elétrica no Brasil em 2023 foi de 708.119 GWh.

Para Rosato et al. (2017), a aquisição em massa de VEs pode resultar em uma demanda de energia elétrica da rede doméstica totalmente diferente, levando à falta de energia. Para contornar essa questão de infraestrutura, a Europa tem apontado a micro cogeração e distribuição dessa energia como alternativa.

Neto (2021) estimou que, para a distância média percorrida pelos brasileiros anualmente, de 13 mil km/ano, utilizando como parâmetro o automóvel do modelo BOLT EV, da fabricante Chevrolet, com autonomia de aproximadamente 400 km e construído com uma bateria de 66 kWh, resultaria em um consumo de 2,1 MWh. Para 2030, projetando que 5% da frota brasileira seria composta por VEs, totalizando 2 milhões de veículos movidos à energia elétrica, seria necessário aumentar a capacidade de geração energética nacional em 4,2 TWh.

2.5.3 Pontos de recarga

O Brasil carece de pontos de recarga, muitas vezes os locais não estão equipados com a infraestrutura adequada e de dispositivos que não permitem um carregamento rápido. No país, não existe um programa governamental de mapeamento de pontos de recarga para VEs e sua divulgação à população. Nesse contexto, entre os proprietários de VEs, iniciou-se o processo colaborativo de mapeamento de pontos de recarga, pelo aplicativo *PlugShare*.

Dentre as informações compartilhadas, tem-se o valor do kWh, velocidade de carga e tipo de plug disponível. O aplicativo permite o planejamento de viagens, conforme a autonomia do veículo, para pré-estabelecer pontos de parada para recarga durante um longo trajeto.

Com a ausência de um plano governamental de implementação de pontos públicos de recarga (Neto, 2021) tem-se observado o aumento de pontos de recarga em condomínios de classe alta, fornecidos pela iniciativa privada.

Em fevereiro de 2024, segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), o país possuía 4.631 eletropostos, sendo 1.437 localizados no estado de São Paulo (NOVACANA, 2024).

2.6 INCENTIVOS BRASILEIROS AO SETOR AUTOMOBILÍSTICO

2.6.1 Proálcool

O Brasil é considerado uma potência climática, devido a sua matriz elétrica composta majoritariamente por fontes renováveis e tem como rota tecnológica alternativa à eletrificação de frotas o etanol, um combustível de baixa emissão de GEE na atmosfera (WOLFFENBUTTEL, 2021), além de sua grande extensão territorial e a possibilidade de ampliação de produção de energia a partir de biomassa (GOV, 2023). Globalmente, o país é destacado como pioneiro no desenvolvimento e implementação do etanol para abastecimento de veículos em larga escala (ELIAS, 2009). Em 1974 devido a uma crise mundial de petróleo foi criado o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), o qual visava o desenvolvimento da produção nacional de álcool etílico, tendo como foco o álcool etílico anidro, que poderia ser adicionado à gasolina em um contexto em que o preço do petróleo havia apresentado um aumento de 428%, disparando de U\$2,91 para UU\$12,45 em 1973. O programa obteve significativos resultados, alcançando, em 1985, à marca de 90% dos veículos vendidos no movidos a álcool (ANDRADE, 2009) entretanto, a queda do valor de mercado do óleo no setor petrolífero em 1996, tornou o mercado menos competitivo, inviabilizando o investimento governamental no etanol, levando ao fim do PROÁLCOOL (ELIAS, 2009).

O etanol teve um novo momento de ascensão com a invenção dos automóveis *flex fuel*, desenvolvido nos EUA no final da década de 80, os quais utilizam tanto etanol quanto gasolina. Nesse contexto, o país voltou a investir em tecnologias e melhorias no processo produtivo de álcool (ELIAS, 2009).

Em maio de 2003, a tecnologia dos veículos de combustível flexível foi introduzida no

Brasil, com o modelo "Gol" da renomada fabricante alemã, Volkswagen, liderando esse avanço (GOV, 2023). O avanço do setor sucroalcooleiro e o aumento da produção de biocombustível foram impulsionados pela crescente preocupação com o meio ambiente e a necessidade da substituição de combustíveis fósseis (HASNER, SANTOS e LIMA, 2015). Segundo a Secretaria de Comunicação Social (2023), estima-se que a tecnologia *flex fuel* contribuiu para a redução de aproximadamente 786 milhões de toneladas de emissões de CO₂ ao longo de duas décadas no país. Em 2023, essa tecnologia estava presente em mais de 80% da frota nacional (MME, 2023).

No país grandes avanços na substituição da gasolina por um biocombustível foram alcançados em meados de 2009, quando o etanol reduziu o consumo de gasolina em 40% no setor de transporte (ELIAS, 2009). Já em 2020, 48% da gasolina foi substituída por etanol a partir da adição de 27% de etanol anidro na gasolina, reduzindo a dependência total de fontes não renováveis nesse combustível (NASTARI, 2021). Segundo a ANFAVEA (2024) aproximadamente 86% da frota nacional é composta por veículos híbridos.

O desenvolvimento do país está relacionado com o cultivo de cana (Nocelli, 2015), tendo grande participação no mercado internacional pela exportação de açúcar e de etanol.

Além do PROÁLCOOL, o Brasil contou com outros diversos programas de desenvolvimento do setor automobilístico, buscando a obtenção de uma frota mais sustentável energeticamente (JUNIOR e SANTOS, 2020). Dentre estes, destacam-se dois projetos implementados na última década, o Inovar-Auto (2012 - 2017) e o Rota 2030 (2018 - 2023), além do Programa Mover.

2.6.2 Programa Inovar-Auto

O Programa Inovar-Auto teve como premissa promover o desenvolvimento tecnológico, aumento de eficiência energética, inovação e proteção ao meio ambiente no setor automobilístico (MDIC, 2019), além de atrair investimentos e aumentar a produção em território nacional de veículos. Através de benefícios fiscais, concedidos às fabricantes automobilísticas que demonstrassem o desenvolvimento previsto pelo programa, o Estado visava impulsionar o avanço do processo produtivo nacional (JUNIOR e SANTOS, 2020).

Dentre as metas de eficiência energética estabelecidas, o programa proporcionava a redução de 1% do IPI em veículos comercializados que apresentassem o rendimento de 17,26 km/l à gasolina e 11,96 km/l ao etanol. Em 2013, ano em que essas métricas se encontravam em vigor, o consumo médio de combustível no país era de 14 km/l à gasolina e 9,7 km/l ao

etanol (COSTA, 2017). Segundo a Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA), no período houve um aumento de 15,46% na eficiência energética da frota e redução das emissões de CO₂, porém apesar dos ganhos obtidos no período, não foi dado nenhum incentivo aos VEs no projeto (WOLFFENBUTTEL, 2022). A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos com o incremento da eficiência energética veicular entre 2011 e 2017.

Tabela 1: Resultados obtidos com o aumento da eficiência energética veicular (2011 – 2017)

Economia anual de combustível - Consumidor	
Gasolina	276,96 L
Etanol	396,97 L
Redução anual de Emissões de CO₂ por veículo	
Gasolina	612,64 kg
Etanol	605,78 kg

Fonte: Adaptado de MDIC (2019)

Em relação às questões sociais, entre 2013 e 2014, o Programa levou ao aumento do número de pessoas empregadas na fabricação de veículos. Esse feito pode ser justificado pelo aumento da capacidade produtiva e o aumento de novas plantas e linhas produtivas instaladas em diversas áreas do país, que aumentou a capacidade produtiva em 435 mil unidades por ano e resultou na geração de 9.520 novos empregos. Os anos seguintes, no entanto, não foram promissores para o setor: a recessão econômica brasileira levou a diminuição do número de empregos (MDIC, 2019).

Tem-se, em síntese, que o Inovar-Auto foi o primeiro programa a impor metas de rendimento para novos veículos, contribuindo para projetos futuros (Neto et al., 2022).

2.6.3 O Programa Rota 2030

Com o fim do Inovar-Auto, em 2018 foi implementado o Programa Rota 2030. No contexto em que o programa foi criado, o mercado automotivo internacional encontrava-se em um novo cenário com a eletrificação veicular em ascensão. Além disso, demandas ambientais como a redução da emissão de carbono pelo setor de transportes estavam em foco após a COP 21 (WOLFFENBUTTEL, 2022), assim esse programa teve por objetivo tornar as metas de emissão de GEE mais rígidas (NETO et al., 2022).

Os subsídios fornecidos por esse programa favoreceram o aumento de VEs no país por

meio da redução do imposto sobre produtos industrializados (IPI) de acordo com a eficiência energética do automóvel (NETO et al. 2022). A vantagem competitiva dos VEs sobre os MCI se sobressaiu, pois para montadoras de MCI que atingissem as metas de melhoria de eficiência energética, mas não aderissem a eletrificação da frota, teriam somente um ponto percentual de desconto sobre o IPI cobrado de acordo com a cilindrada do automóvel. Os VEs, no entanto, que naquele momento tinham uma alíquota de IPI de 25%, teriam uma redução para incentivar a comercialização deste tipo de automóvel. Para isso, as alíquotas de IPI ficariam na faixa 7 a 18%, variando de acordo com o nível de eficiência energética e peso do veículo (Brasil, 2018).

A Rota 2030 previa ainda, além da renúncia tributária anual, a geração de créditos que poderiam ser deduzidos sobre o imposto de renda ou sobre o lucro líquido da contribuição social para investimentos em inovação. Esses valores eram de até 30% para veículos não eletrificados ou até 40% para inovações em VEs, área de interesse estratégica do governo (NETO et al., 2022). Entretanto, o não cumprimento das metas acordadas estavam sujeitas a penalidade financeira de até 20% sobre o total das vendas (Brasil, 2018).

2.6.4 O Programa Mover

Criado por meio de medida provisória no final do ano de 2023, o novo programa nacional de Mobilidade Verde e Inovação (Mover) tem como objetivo aumentar as exigências referentes à sustentabilidade propostas pelo programa Rota 2030.

O Programa visa gerar investimentos em pesquisa e desenvolvimento, além do incentivo à produção de veículos elétricos e híbridos (BRESSIANI et al., 2020). Dentre as novas exigências a serem implementadas pelo programa, tem-se: expansão de investimentos em eficiência energética, inclusão de limites mínimos de reciclagem no processo de fabricação de novos automóveis e a criação do “IPI verde”, reduzindo os impostos dos menores poluidores (MDIC, 2023).

O Mover tem como foco impulsionar investimentos atrelados à baixa emissão de carbono e o desenvolvimento sustentável (GOV, 2024), abrindo caminhos para os veículos elétricos, que, devido à matriz energética brasileira, são uma alternativa com baixas emissões de CO₂.

Neste novo programa, está prevista a mudança na contabilização de carbono emitido pelos veículos, inicialmente considerando as emissões em todo o ciclo da fonte de energia utilizada. Para 2027, o programa prevê que a somatória de emissão de carbono deverá incluir: fabricação dos componentes, uso do veículo e descarte (MDIC, 2023).

2.7 CARROS ELÉTRICOS – CENÁRIO ATUAL

2.7.1 Brasil

O Brasil apresenta um crescimento lento na venda de veículos elétricos quando comparado a outros países, onde a transição da mobilidade energética já é uma realidade. O percentual de veículos elétricos vendidos em países como Noruega, Suécia e Holanda no ano de 2021 foi de 86%, 43% e 30%, respectivamente (WOLFFENBUTTEL, 2022).

Anualmente, a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) juntamente com a Associação Brasileira das Empresas Importadoras e Fabricantes de Veículos Automotores (ABEIFA), publica o Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, com dados obtidos pelo setor no ano anterior. A Tabela 2 abaixo apresenta o número de licenciamento de carros novos de 2016 a 2023.

Tabela 2: Licenciamento de Carros Novos (2016 – 2023)

Ano	Combustível			
	Gasolina	Etanol	Diesel	Eletrificado
2016	79.490	1.572.798	34.904	1.085
2017	68.145	1.739.014	46.121	3.278
2018	81.493	1.969.672	46.964	3.965
2019	73.429	2.123.841	52.933	11.844
2020	58.330	1.490.480	47.427	19.687
2021	52.089	1.411.662	59.858	34.839
2022	44.286	1.437.715	45.887	48.744
2023	48.514	1.545.015	34.993	92.847

Fonte: ABEIFA e ANFAVEA, 2024

O aumento significativo no emplacamento de veículos elétricos, saindo de 0,06% (2016) e chegando a 5,39% (2023) da frota total, pode ser justificado pela expansão da infraestrutura de recarga no país, além da busca por meios de transportes mais sustentáveis, econômicos (do ponto de vista de custo de combustível) e novas tecnologias (EXAME, 2023).

Levando em conta o aumento de vendas de veículos elétricos no Brasil, destaca-se que

no ano de 2023 o veículo elétrico mais vendido foi o modelo BYD Dolphin, da montadora chinesa BYD Auto, somando 6.812 unidades adquiridas. Esses valores se destacaram principalmente por serem maiores que alguns carros a combustão interna vendidos a mais tempo no mercado nacional (ABVE e Fenabreve, 2023). Em julho de 2024, o modelo era vendido por R\$ 115.800,00. (INSIDEEVS, 2024.)

Segundo o fabricante, esse modelo trata-se de um veículo eficiente, onde cada quilômetro percorrido custa R\$ 0,15 e tem autonomia de 291 quilômetros por recarga completa feita. A ficha técnica do modelo apresenta ainda, dados de capacidade da bateria, de 44,9 kWh e tempo de recarga (de 30 a 80%) de 30 minutos (BYD, 2023).

Dentre as vantagens apresentadas para este veículo, destaca-se a garantia nos 5 primeiros anos ou até atingir 500.000 km, além da garantia de 8 anos da bateria, sem limitações (BYD, 2023).

O avanço dos VEs traz consigo pontos de atenção, uma vez que o país apresenta uma distribuição desigual entre as regiões do Brasil. Fatores socioeconômicos, como a participação no PIB, população presente na região e densidade demográfica, justificam o cenário. Tem-se que mais de 52% das vendas foram realizadas na região sudeste, a qual é responsável por 51,9% do PIB nacional (PNME, 2024). Em 2023, 34,64% da frota de veículos do país encontrava-se em São Paulo (NEOCHARGE, 2023).

Ademais, segundo pesquisa da Volkswagen, a eletrificação da frota pode reduzir em até 12% dos empregos no ramo da indústria automotiva até 2029. Essa projeção leva em consideração que veículos elétricos demandam menos tempo para serem fabricados. Um dos fatores é sua “fácil” construção, que requer menos peças. As áreas mais afetadas serão a de produção de componentes, que apresenta uma demanda 70% menor na confecção de conjuntos elétricos, quando comparados ao conjunto mecânico convencional (QUATRO RODAS, 2021)

Segundo Adriana Marotti, docente da Faculdade de Economia, Administração Contabilidade e Atuária (FEA) da Universidade de São Paulo, “Eletrificar a frota não significa ter mobilidade sustentável e justa para toda a sociedade”. No contexto brasileiro, as políticas públicas devem ser de incentivo à transportes coletivos eletrificados, não a frota individual (BUENO, 2023). Em abril de 2024, o país contava com 62,2 milhões de veículos em circulação (Ministério dos Transportes, 2024).

Entretanto, o avanço dos veículos elétricos no país ainda é considerado lento, em um contexto em que a frota total de veículos, segundo o Instituto Brasileiro de Planejamento e

Tributação (IBTP), era de 119.227.657 automóveis em dezembro de 2023. (IBPT, 2024).

2.7.2 Noruega

Provido de laboratório de pesquisas, desenvolvimento e melhorias nos VEs, a Noruega é apontada como um dos países mais importante para a eletrificação dos veículos (Røstvik, 2018). No país, a difusão de VEs na população é incentivada por meio de isenções fiscais na compra e venda desses automóveis, estacionamento gratuito em áreas centrais das cidades, além da possibilidade de recarga da bateria desses veículos gratuitamente. (EUROSTAT, 2019). Ademais, prioridades nas vias de condução, como: permissão de uso de faixas exclusivas de tráfego de ônibus e uso de pedágios e balsas de forma gratuita, foram estratégias de impulsionamento à adesão desses veículos. (Holtmark e Skonhoft, 2014) Esses incentivos possibilitaram, em uma década, o aumento de 99% na venda dos eletrificados. (EUROSTAT, 2019)

2.7.3 China

A China, líder de compra de VEs segundo a Agência Internacional de Energia - IEA (2021), tem sua matriz elétrica composta 85% de origem não-renovável, onde 90% provêm da queima de carvão mineral. A questão levanta preocupações sobre a viabilidade sustentável da eletrificação de frotas, especialmente em países onde a geração de energia é predominantemente baseada na queima de combustíveis não-renováveis. Nestes casos, as usinas geradoras são frequentemente localizadas em regiões periféricas, resultando em um aumento das GEE e poluentes prejudiciais à saúde respiratória da população de baixa renda (JI et al. 2012).

Os veículos elétricos não emitem GEE em sua operação, no entanto, ainda estão associados à poluição quando analisada a rede elétrica. Portanto para o VE ser “zero carbono”, a origem da energia elétrica deve ser de fonte limpa (NETO, 2021).

Outro aspecto importante no aumento da frota elétrica de veículos neste país está relacionado à poluição sonora e os efeitos dos ruídos. Trata-se de uma preocupação para a gestão de saúde pública, considerando que este é o tipo de poluição que muitas pessoas estão em contato diariamente. Por não se tratar de impactos a saúde na esfera psicossomática e social, sua avaliação é complexa e subjetiva. (BRESSANE et al. 2016).

O ruído resultante do tráfego de veículos se deve a três fatores:

- i. o tipo de veículo;
- ii. a fricção entre os pneus do veículo e o asfalto;
- iii. modo de dirigir e comportamento do condutor.

Em veículos a combustão interna, a maior parte do ruído gerado provém do motor, causado no processo de compressão e expansão do componente, o qual gera vibrações que emitem ruído. Em termos de poluição sonora, os VEs são promissores, principalmente quando comparados aos MCI. Em baixas velocidades, os VEs são praticamente inaudíveis, enquanto os MCI podem chegar a níveis de ruído superiores a 6 dB a 10 km/h. Em velocidades maiores, os veículos se tornam iguais em emissão de ruído, pois o que se sobressai é a fricção entre os pneus e o asfalto (SIANO e GONZÁLEZ, 2021).

Em condições urbanas, pedestres como crianças e pessoas com deficiência visual tornam-se mais vulneráveis com a popularização dos VEs, dada a dificuldade de detectar sua presença e proximidade, devido à baixa emissão de ruído. Será necessário, então, adotar medidas de segurança, por meio de sinal sonoro (SIANO e GONZÁLEZ, 2021).

2.7.4 Poluição Sonora

A necessidade de criação de legislações para determinar o nível mínimo de ruído emitido para veículos elétricos tem sido pauta desde 2009 para o Japão, Estados Unidos e Europa (SIANO e GONZÁLEZ, 2021). A União Europeia foi pioneira em colocar tais discussões em prática, a partir da “*Commission Delegated Regulation (EU) 2017/1576*), a qual determina que todos os veículos elétricos e híbridos devem, a partir de 1 de julho de 2019, possuírem o sistema de alerta acústico do veículo (AVAS). O dispositivo tem a função de emitir um som desde a partida do veículo até aproximadamente 20 km/h e durante a marcha-ré. (Disponível em <https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/electric-and-hybrid-cars-new-rules-noise-emitting-protect-vulnerable-road-users-2019-07-03_en>)

No Brasil, pesquisas têm sido realizadas para a quantificação de ruído gerado por veículos. BRESSANE et al. (2016), por meio de uma avaliação quantitativa de ruído medidos em campo na cidade de Rio Claro, interior de São Paulo, e entrevistas com a população, analisaram o ruído ambiental e os efeitos sobre a saúde.

Na situação analisada, o tráfego de veículos era a principal fonte de ruído e, como resultado, obteve-se que em todos os pontos avaliados, o limite de ruído, de 60 dB estabelecido pelo Lei 4.092/2008, de 30 de janeiro de 2008 (Brasil, 2008) foi ultrapassado. Dentre as respostas obtidas pela população entrevistada, 70,6% alegaram a interferência no solo pela

poluição sonora, além de 71,5% que relatam efeitos sobre a concentração ou desempenho mental e 73,4% reconhecem a relação de ruído excessivo como elemento estressante.

2.8 NOVO MERCADO

A modernização dos veículos também levou a novas formas de adquiri-los. Até 10 anos atrás, ao decidir comprar um carro novo, era necessário ir a uma concessionária presencialmente. Atualmente, é possível realizar a compra de um VE novo por meio de sites, como o “Mercado Livre”. Assim como uma compra comum e de pequeno valor, essa plataforma, possibilita, ainda, a compra em pré-venda com descontos (Estadão, 2024).

Entretanto, apesar da facilidade de aquisição, o VE ainda é um sonho distante para o brasileiro, devido ao alto valor de investimento e a carência de infraestrutura necessária (UOL, 2024).

O Brasil, a partir do Programa Mover, fortalecerá o etanol brasileiro por meio da redução do Imposto Sobre Produtos Industrializados (IPI) para veículos híbridos movidos exclusivamente a etanol ou híbridos *flex fuel*, sendo essa redução em até 3 pontos percentuais em relação aos outros veículos (Senado, 2024). Em contrapartida, no início de 2024, o governo retomou o imposto de importação de veículos elétricos ou híbridos comprados no exterior, que até o final de 2023 era isento. Essa medida busca fortalecer o mercado interno, a partir da geração de emprego e renda (GOV, 2023).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como objetivo geral analisar os impactos e a viabilidade da eletrificação da frota de veículos, considerando os pilares ambiental, social e econômico, a partir da substituição de veículos à combustão por veículos elétricos.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dada a tendência global de eletrificação da frota circulante, os objetivos específicos deste trabalho são analisar três principais pilares: ambiental, social e econômico. Primeiramente, busca-se avaliar a viabilidade da substituição dos veículos à combustão por veículos elétricos, considerando a energia elétrica limpa ou de origem não renovável, medidos em toneladas de dióxido de carbono emitidas pelos automóveis. Além disso, pretende-se

avaliar os impactos positivos e negativos da substituição da frota, analisando fatores como acessibilidade, redução de ruído e segurança. Outro objetivo é realizar uma análise crítica relacionada ao poder econômico da população para a aquisição de veículos elétricos. Por fim, será realizado um estudo de caso aplicado a uma indústria metalúrgica no interior de São Paulo, em termos de impacto ambiental, a viabilidade da substituição da frota atual pertencente à empresa por veículos eletrificados.

4 METODOLOGIA

Para ser possível alcançar os objetivos propostos serão utilizadas metodologias adequadas ao longo deste trabalho. Dentre elas, o levantamento da emissão de CO₂ por veículos à combustão e veículos elétricos e o custo de obtenção/manutenção dos mesmos nas categorias “subcompacto” “pequeno” “médio” e “grande” (determinadas pelo INMETRO) pelo método “*bottom-up*”. Além disso, será feita a pegada ecológica e a análise dos dados obtidos à realidade social do Brasil, tendo como parâmetro o poder aquisitivo. Todas estas análises serão feitas baseadas na distância média percorrida pelos brasileiros anualmente. Por fim, um estudo de caso referente a uma empresa do setor metalúrgico, será feito de modo a verificar o custo e consequências da mudança da frota de veículos à combustão por veículos elétricos.

4.1. MÉTODO “*BOTTOM-UP*”

O Método “*bottom-up*” é vastamente utilizado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) - órgão das Nações Unidas para avaliar a ciência relacionada às mudanças climáticas. Por este método é possível quantificar a emissão de CO₂ quando se possui dados como: consumo, quilometragem, fatores de emissão e subgrupo de veículos utilizados (AZEVEDO et al., 2018).

Para aplicação do método, alguns passos e equações devem ser seguidos:

- 1) Determina-se o consumo médio de combustíveis
- 2) Multiplica-se pelo fator de emissão de carbono e distância percorrida
- 3) Obtém-se o valor da quantidade de CO₂ emitida, conforme Equação 1.

$$E_{CO_2} = C_c * F_{emiss} * D \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

E_{CO_2} : Emissão de CO₂ (g CO₂);

C_c : Consumo de combustíveis (Km/L);

F_{emiss} : Fator de emissão de CO₂ (g CO₂/L_{combustível}).

D: Distância percorrida

Para a utilização dos dados disponíveis para a análise proposta nesse trabalho, será necessária uma etapa de cálculo adicional, para a conversão dos fatores de emissão para unidades iguais, em kg CO₂/km. A Equação 2 a seguir apresenta o fator de conversão para veículos à combustão:

$$F_{emiss\ c*} = \frac{F_{emiss}}{R} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

F_{emiss*} : Fator de Emissão Convertido (g CO₂/km);

F_{emiss} : Fator de emissão de CO₂ (g CO₂/L_{combustível}).

R: Rendimento médio do veículo (km/L_{combustível})

Para a conversão do fator de emissão de veículos elétricos, utiliza-se a Equação 3 a seguir:

$$F_{emiss\ e*} = \frac{C_{bateria} * F_{emiss} * 1000000}{R_c} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$F_{emiss\ e*}$: Fator de Emissão Convertido (g CO₂/km);

$C_{bateria}$: Capacidade de armazenamento da bateria (kWh/recarga);

F_{emiss} : Fator de emissão de CO₂ (t CO₂/Wh);

R_c : Rendimento médio do veículo (km/recarga).

4.1.1. Distância média percorrida pelos brasileiros anualmente

Segundo a ASSOBRV - Associação Brasileira Dos Distribuidores Volkswagen, estudos realizados em 2019 pela Kelley Blue Book Brasil (KBB Brasil) indicam que a distância média percorrida por veículos pequenos é de 13 mil quilômetros, enquanto os veículos classificados como médio e grande percorrem, respectivamente, 11,7 mil quilômetros e 10,1 mil quilômetros anualmente.

Neste trabalho, para a realização da análise comparativa de emissão de CO₂ pelos automóveis, será utilizada a média simples da distância percorrida entre as 3 classificações de veículos, de 11,6 mil quilômetros por ano.

4.1.2. Eficiência média de veículos por categoria

Segundo o 16º PEBV, publicado em maio de 2024, a eficiência média dos veículos disponíveis no mercado brasileiro, quando abastecidos a gasolina ou a etanol, são apresentados na Tabela 3 seguir:

Tabela 3: Rendimento Automóveis à Combustão

Categoria	Modelo	Rendimento (km/L)			
		Etanol – Cidade	Etanol – Estrada	Gasolina – Cidade	Gasolina – Estrada
Sub Compacto	FIAT Mobi Like – 1.0	9,6	10,4	13,5	15,0
Pequeno	Renault Sandero – 1.0	10,0	10,2	13,9	14,7
Médio	Chevrolet Onix – 1.0	9,3	11,4	13,3	16,5
Grande	Toyota Corolla Cross XRE 20 - 2.0	8,2	9,0	11,7	13,0

Fonte: PEBV (2024)

Veículos elétricos, entretanto, são classificados em parâmetros diferentes, conforme apresentado na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Rendimento Automóveis Elétricos

Categoria	Modelo	Rendimento		
		Consumo Energético (MJ/km)	Estrada (equivalente) (km/L)	Cidade (Equivalente) (km/L)
Sub Compacto	BYD Dolphin Mini	0,41	41,9	58,6

Pequeno	MINI Cooper S Electric	0,58	38,5	31,8
Médio	Chevrolet Bolt	0,48	39,0	45,8
Utilitário Esportivo Compacto	e-JS4	0,60	35,0	32,5
Grande	Volvo C40	0,60	32,0	35,8

Fonte: PEBV (2024)

Os fatores de emissão de CO₂ para os combustíveis são apresentados na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5: Fatores de Emissão de Combustíveis, referente ao ano de 2022

Combustível	Fator de Emissão (kg/L)
Etanol	1,457
Gasolina	2,212

Fonte: CETESB (2022)

Para os veículos elétricos, considerando a matriz energética brasileira, segundo o MCTI (2024) o fator de emissão de CO₂ médio no ano de 2023 foi de 0,0467 (tCO₂/MWh). E, segundo Van Mierlo et al. (2017), o fator de emissão dióxido de carbono para a geração de eletricidade a partir de carvão vegetal é de 0,885 (tCO₂/MWh).

4.1.3. Análise Dimensional

A análise dimensional é aplicada para normalizar dados e torná-los aplicáveis a outros contextos, quando não há a possibilidade de utilizá-los na unidade de medidas original, verificando se os resultados obtidos são dimensionalmente consistentes (LIMA NETO, 2015).

4.1.3.1. Fator de Conversão

Para a utilização dos dados obtidos inicialmente, será aplicada a conversão das unidades, por meio do fator de conversão de unidades (FC) conforme descrito por Badino Junior e Cruz (2013), é apresentado pela Equação 4 a seguir:

$$\text{Fator de Conversão (FC)} = \frac{\text{Unidade Nova}}{\text{Unidade Velha}} \quad (\text{Equação 4})$$

4.2 VALOR MÉDIO DE COMBUSTÍVEIS

Segundo o Sindicato do Comércio Varejista da cidade do interior do estado de São Paulo na qual o estudo de caso foi baseado, em junho de 2024, o preço médio do litro do combustível no município, para Etanol e Gasolina foram, respectivamente, R\$3,54 e R\$5,37. No ano de 2023, o preço médio do litro de etanol foi de R\$3,57.

4.3 CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), em 2022, o consumo médio de energia elétrica do setor residencial foi de 161 kWh/mês. Segundo a ANEEL (Associação Nacional de Energia Elétrica) o valor da tarifa média cobrado pela empresa CPFL Paulista, vigente no ano de 2024, é de R\$0,70/ kWh.

De acordo com a Shell Brasil (2024), empresa do setor de óleo e gás, com mais de 6.200 postos de abastecimento no país, que também investe em soluções de recarga para veículos elétricos, por meio das estações “Shell Recharge”, a empresa disponibiliza recargas rápidas que podem recarregar a bateria dos VE em 35 minutos. Na cidade do estudo, o custo da recarga era estipulado em R\$2,50 por kW. (Shell International B.V.,2024).

4.4. PEGADA ECOLÓGICA

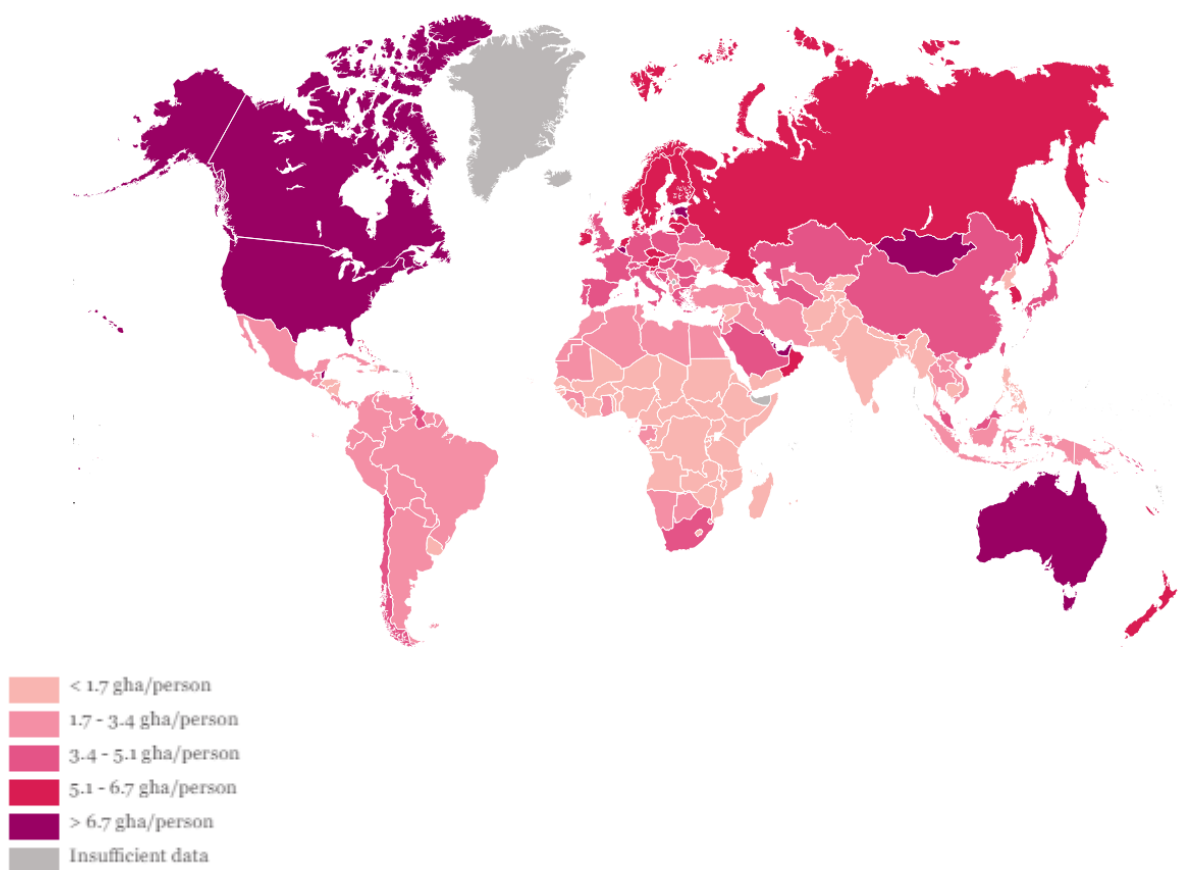
A Pegada Ecológica (PE) foi criada em criada em 1996 por Mathis Wackernagel e William Rees como uma ferramenta que permite avaliar os impactos ambientais individuais ou populacionais, sobre os recursos naturais existentes (LAMIM-GUEDES, 2011). Esse indicador estima quanto de espaço é necessário para sustentar os impactos gerados e a possibilidade ou não do planeta renovar os recursos a mesma taxa. A medida usada é o hectare global (gha), que representa a média mundial de produtividade de terra e água em um ano. Isso permite comparar diferentes estilos de vida e verificar se estão dentro dos limites ecológicos do planeta (BORGES et al., 2018), a partir do “saldo ecológico”, obtido a partir da diferença entre a biocapacidade – taxa máxima de renovação de recursos naturais da natureza – e a pegada ecológica. O saldo positivo indica que a região analisada é ambientalmente sustentável,

enquanto o saldo negativo o contrário (DEXHEIMER, 2011).

Segundo Barlow et al. (2010), em 2007 a capacidade de renovação do planeta era de aproximadamente 1,8 gha *per capita* e a demanda global dos recursos ambientais de 2,7 gha *per capita*. Os países europeus, Estados Unidos, Canadá e Austrália apresentavam uma PE de aproximadamente 3,6 gha *per capita*, sendo este valor superior em mais de 2 vezes a oferta do planeta.

A demanda *per capita* do Brasil, na época, era de 2,9 gha, sendo inferior às demandas dos países desenvolvidos previamente apresentados, no entanto, essa demanda extrapola a capacidade de renovação do planeta (FASIABEN et al., 2011). A mesma relação é observada nos dias de hoje, apresentados na Figura 7 a seguir, por meio do “Relatório Planeta Vivo 2022 – Construindo uma sociedade positiva para a natureza”, publicado pela WWF.

Figura 7: Pegada Ecológica *Per capita* por País

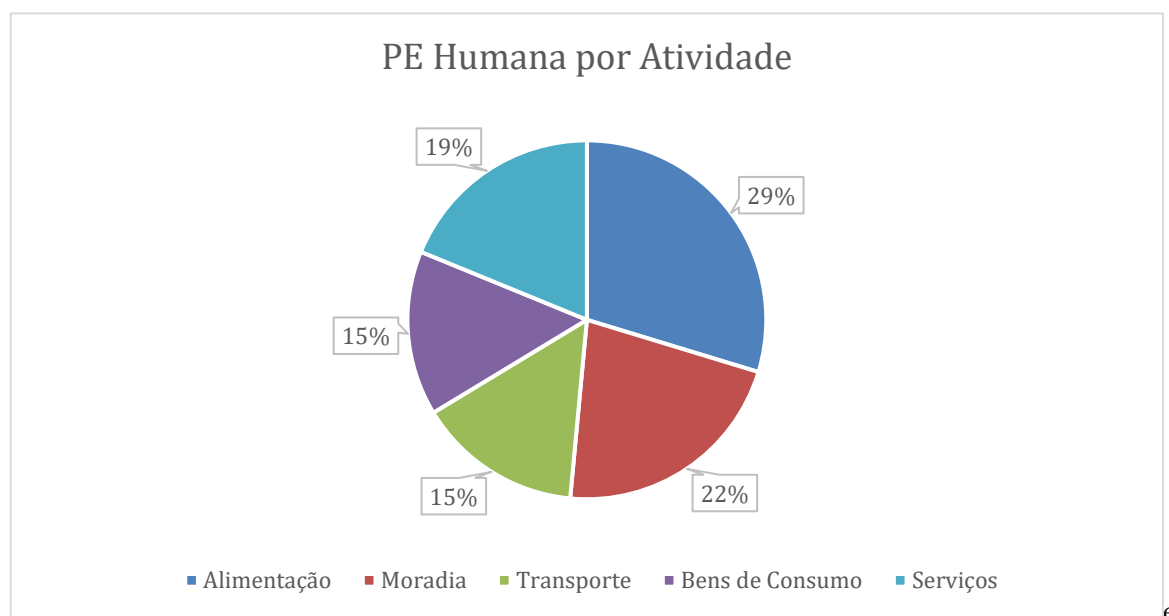


Fonte: WWF (2022)

Baseado nas estimativas realizadas em 2022 pela WWF, a PE global era de 1,75 planetas (WWF, 2022). A Figura 8 a seguir apresenta a porcentagem de contribuição da PE da

humanidade por atividade empenhada, sendo elas: alimentação, moradia, transporte, serviços e bens de consumo.

Figura 8: PE Humana por Atividade



Fonte: Adaptado de WWF (2022)

4.5. MÉTODO DE CÁLCULO

Simplificadamente, o cálculo de PE se resume ao balanço de fluxos de matéria e energia que entram e saem de um determinado sistema. Para efeitos comparativos, estabelece-se equivalências de recursos naturais (como área de terra ou água) disponíveis na natureza para atender à demanda (MELO, 2013) e a assimilação de emissões de CO₂ (DEXHEIMER, 2012).

Para o escopo de consumo de combustíveis fósseis, utiliza-se a análise de área produtiva adicional, por meio de reflorestamento, necessária para neutralizar as emissões de CO₂ da atividade. Dados do IPCC (2001) apontam que a capacidade de absorção de carbono do planeta é de 3,0 gigatoneladas, sendo 66,7% absorvido pelos oceanos e 33,3% por áreas terrestres (IPCC, 2001)

A pegada de ecológica do transporte (gha) é dada pela Equação 5 a seguir:

$$PE = \frac{E_{CO_2}}{S_{CO_2}} * FE (X)$$

Sendo:

PE: Pegada ecológica (gha);

E_{CO₂}: Emissão de CO₂ (t CO₂/ano);

S_{CO₂}: Taxa de sequestro de CO₂ por vegetação (t CO₂/ano);

FE: Fator de equivalência de floresta (gha/ha).

O parâmetro de emissão de CO₂ é dado pela Equação 1 apresentada anteriormente e a Taxa de sequestro de CO₂ e Fator de equivalência de floresta são parâmetros escolhidos conforme o local a ser analisado. Para o escopo definido neste trabalho, a referência de taxa de sequestro de CO₂ é um município do interior paulista (Brasil), que está localizado em uma área de transição entre os biomas de Cerrado e Mata Atlântica, com uma extensão de área verde de 14.557,78ha (Barbosa; Fernandes; Aparecido, 2024) e a taxa de sequestro de carbono para Cerrado e Mata Atlântica são, respectivamente 0,2 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ e 0,44 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ (SEEG, 2024). O fator de equivalência de floresta (FE), segundo Ewing et. al (2010), é de 1,26 (gha/ha). Devido a ausência de dados específicos da extensão de cada bioma no município, para os cálculos serão considerados 50% do território de Cerrado e 50% Mata Atlântica.

4.6. SALÁRIO-MÍNIMO BRASILEIRO E PODER DE COMPRA DE AUTOMÓVEIS

Segundo o jornal Estadão (2023), o carro zero quilômetro no Brasil se tornou artigo de luxo. Em 2023, eram necessários 50 salários-mínimos (SMs) para adquirir o modelo mais barato disponível com valor de R\$66.000,00 (Renault Kwid Zen), na época em que o SM era de R\$ 1.320,00 (GOV, 2023). Para estabelecer comparações, em 2019 eram necessários 33 SMs para adquirir um modelo similar (Renault Kwid Life) ao custo de R\$32.290,00, na época em que o SM era de R\$ 998,00 (O GLOBO, 2023).

Em 2024, com o SM de R\$1.412,00 (GOV, 2023), o automóvel zero quilômetro mais barato disponível no mercado (Fiat Mobi Like) tem o valor de R\$72.990,00, equivalente à aproximadamente 52 SMs (TERRA, 2024).

Apesar do SM fixado pelo Governo Federal, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2023, a média salarial mensal do brasileiro era de R\$ 2.979. Destaca-se, ainda, o alto índice de desigualdade social, onde 10% da população de maior renda recebia aproximadamente 15 vezes o rendimento de 40% da população de menor renda. Na população de menor renda, a média salarial era de R\$527. Havia, ainda, um seletivo grupo, que corresponde a 1% da população com maior rendimento, que recebiam mais de 39 vezes o rendimento da população de baixa renda, equivalente a uma renda de R\$20.664. (Agência de Notícias, 2024). Ademais, segundo um Relatório do Ministério da Fazenda, em 2022, 10% da população mais rica concentravam 51% da renda total do país. (Agência Brasil, 2024)

Para efeitos comparativos, quando os automóveis começaram a adentrar o mercado brasileiro em 1900, um veículo à combustão custava cerca de 5 milhões de réis (equivalente a aproximadamente R\$125.000,00 no ano de 2024) ou 200 SMs. Naquele momento, o cenário era de que a maior parte da população se dedicava a lavoura, recebendo um salário de 25 mil réis ao mês, fazendo com que o veículo se tornasse uma aspiração popular distante (GEHRINGER, 2002). Ainda segundo WOMACK et al. (2002), naquela época, veículos eram utilizados como um esporte nobre, chique e inovador, sendo visto como um privilégio da elite do país.

5 RESULTADOS

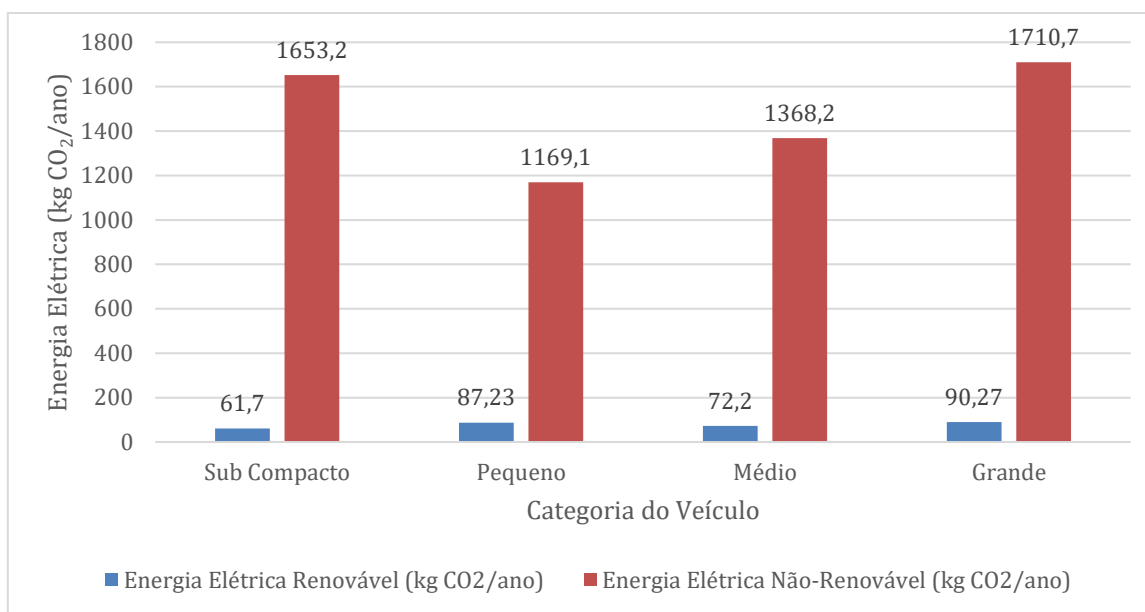
A partir dos dados de distância média percorrida anualmente por veículos sub compactos, pequenos, médios e grandes, dados fornecidos pela PBEV e os fatores de emissão de CO₂ para cada combustível utilizado, obteve-se os seguintes resultados de emissão de CO₂ para veículos a combustão, sendo selecionados os modelos mais vendidos atualmente (Fiat Mobi Like, Renault Sandero, Chevrolet Onix, Toyota Corolla Cross XRE) utilizados para a análise, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6: Emissões de CO₂ para veículos à combustão

			Cidade (kg CO ₂ /ano)	Estrada (kg CO ₂ /ano)
Veículos à Combustão	Gasolina	Sub Compacto	1.900,7	1.710,6
		Pequeno	1.845,9	1.744,5
		Médio	1.929,3	1.555,1
		Grande	2.193,1	1.973,8
	Etanol	Sub Compacto	1.760,5	1.625,1
		Pequeno	1.690,1	1.656,9
		Médio	1.817,3	1.482,5
		Grande	2.061,1	1.877,9

Fonte: Autoria Própria (2024)

Realizou-se a mesma análise para veículos elétricos, selecionando os modelos mais vendidos atualmente (BYD Dolphin Mini, MINI Cooper S Electric, Chevrolet Bolt e Volvo C40), considerando o cenário em que a energia elétrica é obtida a partir de fonte renovável e não renovável. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7: Emissões de CO₂ para veículos elétricos deslocando-se na cidade/estrada.

Fonte: Autoria Própria (2024)

Além da análise de emissões de dióxido de carbono anual, realizou-se o levantamento do valor despendido em combustível para o transporte. Os resultados são apresentados nas Tabela 8 e Tabela 9 a seguir.

Tabela 8: Gastos com combustível - Etanol

Etanol	Cidade	Sub Compacto	R\$ 4.277,50
		Pequeno	R\$ 4.106,40
		Médio	R\$ 4.415,48
		Grande	R\$ 5.007,8
	Estrada	Sub Compacto	R\$ 3.948,46
		Pequeno	R\$ 4.025,88
		Médio	R\$ 3.602,66
		Grande	R\$ 4.562,66

Fonte: Autoria Própria (2024)

Tabela 9: Gastos com combustível - Gasolina

Gasolina	Cidade	Sub Compacto	R\$ 4.614,22
		Pequeno	R\$ 4.481,44
		Médio	R\$ 4.683,61
		Grande	R\$ 5.324,10
	Estrada	Sub Compacto	R\$ 4.152,80
		Pequeno	R\$ 4.237,55
		Médio	R\$ 3.772,27
		Grande	R\$ 4.791,69

Fonte: Aatoria Própria (2024)

Realizando a análise em que os mesmos parâmetros de distância percorrida anualmente são percorridos por veículos elétricos, os valores de consumo médio de kWh mensal são apresentados na Tabela 10 a seguir.

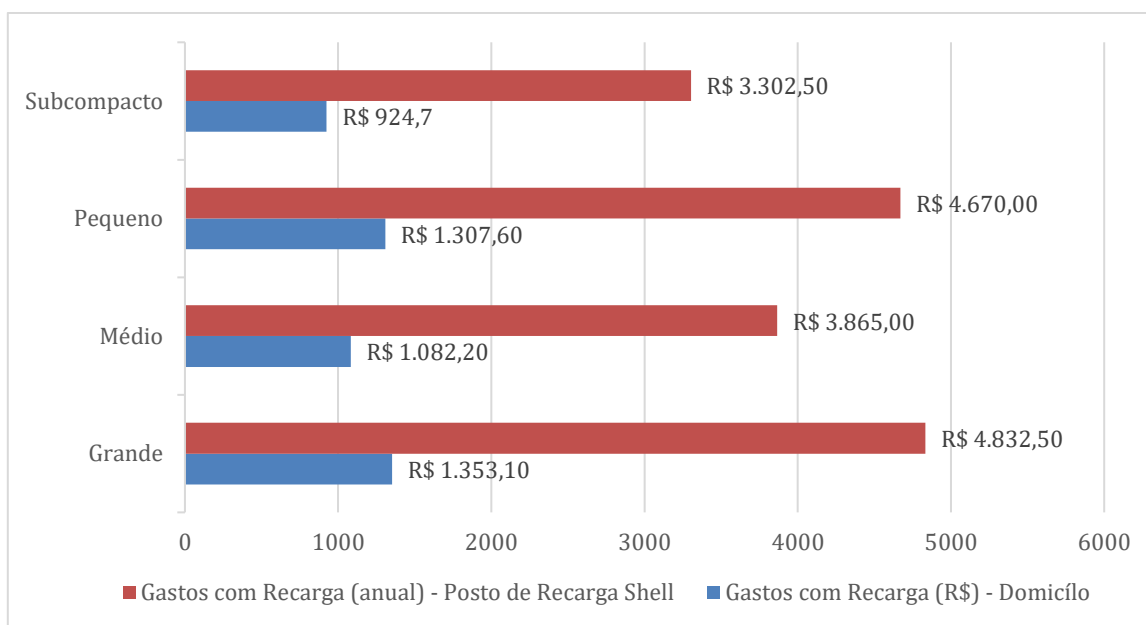
Tabela 10: Consumo energético e gasto com recarga – Veículos Elétricos

Modelo de Veículo	Categoria	Consumo de Energia Elétrica Mensal (kWh)
BYD Dolphin Mini	Sub Compacto	110,08
MINI Cooper S Electric	Pequeno	155,66
Chevrolet Bolt	Médio	128,83
Volvo C40	Grande	161,08

Fonte: Aatoria Própria

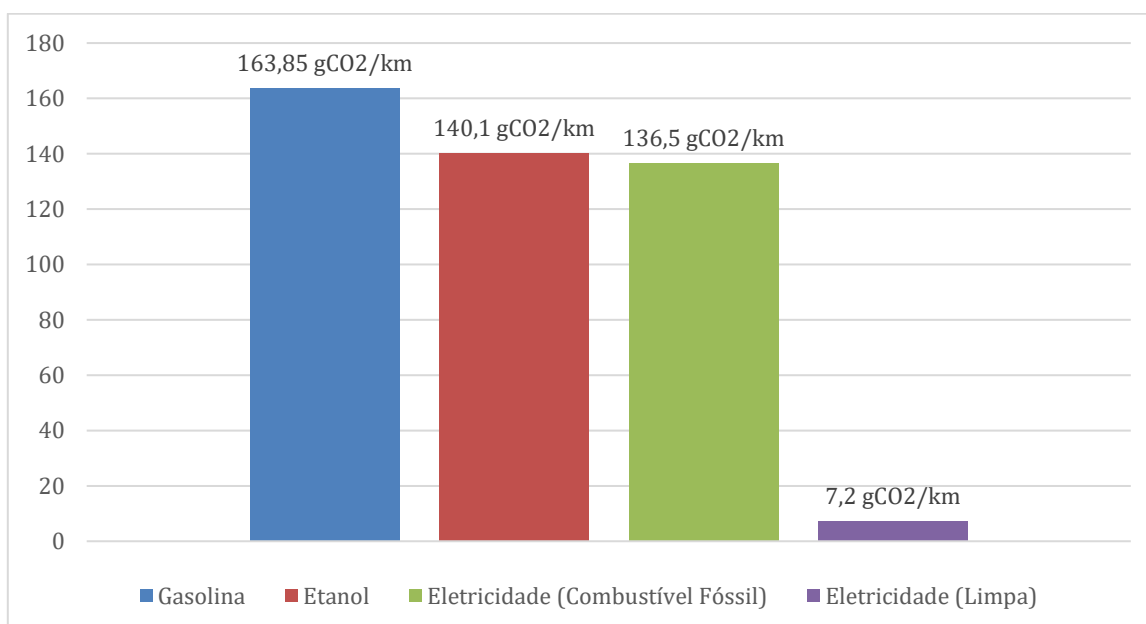
Os gastos para a recarga dos VEs, considerando a recarga realizada em domicílio ou por meio de postos de recarga Shell, são apresentados na Figura 9 a seguir.

Figura 9: Custo anual de recarga de VE's



Fonte: Autoria Própria (2024)

Para estimar a emissão de CO₂ de maneira uniforme, converteu-se os fatores de emissão de CO₂ para a mesma unidade, em g/km percorrido, para os automóveis da categoria subcompacto e os diferentes combustíveis, sendo estes os mais vendidos atualmente no país. Obteve-se, então, os fatores apresentados na Figura 10 a seguir:

Figura 10: Fatores de emissão de CO₂ em g/km

Fonte: Autoria Própria (2024)

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta a discussão dos resultados obtidos anteriormente, em termos dos impactos ambientais, sociais e econômicos observados. A análise a seguir busca contextualizar esses resultados dentro do cenário brasileiro e compará-los com a realidade enfrentada por outros países, destacando os possíveis impactos resultantes da substituição de veículos à combustão por veículos elétricos.

Em termos de impactos ambientais, observa-se que, para veículos subcompactos (os mais vendidos atualmente no Brasil), a redução de emissão de CO₂, no melhor cenário, pode chegar a 96,4%, quando é considerado que esses veículos serão abastecidos à energia elétrica de fonte renovável (hidrelétricas) em relação ao VE abastecido à etanol. Entretanto, no cenário em que a energia elétrica é gerada a partir da queima de combustíveis fósseis, a redução da emissão de CO₂ é de apenas 6,09%. Realizando o balanço entre a energia elétrica produzida no Brasil em 2023 e a demanda de eletricidade no mesmo período, há disponível 107 TWh por ano para o abastecimento de novos veículos elétricos. Considerando o consumo anual de energia elétrica por VE, seria possível, na disponibilidade atual de energia elétrica, eletrificar apenas 6,7% da frota total. O Brasil, entretanto, é o segundo maior produtor de etanol do mundo, além de ser o país que apresenta “vantagens” quanto à sua extensão e clima, permitindo a geração de energia elétrica a partir de hidrelétricas e a ampliação da capacidade produtiva a partir da instalação de painéis solares e turbinas eólicas. Analisando globalmente, um cenário diferente é observado na China, país que é responsável pela aquisição da maior parte dos VEs atualmente, compondo quase 30% da frota. No país, a matriz elétrica é composta em sua maior parte por energia de origem não-renovável, além de que, analisando a pegada ecológica, o país apresenta uma das maiores PE globais, sendo de 3,4-5,1 gha por habitante. Caso semelhante é observado na Noruega, país em que há uma vasta adoção dos VEs e a pegada ecológica é ainda superior à da China (5,1 – 6,7 gha *per capita*), no entanto, diversas formas de subsídios fiscais, prioridades de uso de vias e estacionamentos, além da possibilidade de recarga dos veículos de maneira gratuita, favorecem à adesão dessa tecnologia no país. Outra questão ambiental relevante, é a redução da poluição sonora, fator que impulsionou o aumento da frota elétrica de veículos na China, devido aos impactos na saúde da população e a preocupação para a gestão de saúde pública, considerando o aumento do estresse devido ao ruído e efeitos sobre a concentração ou desempenho mental. No Brasil, o ruído resultante do tráfego de veículos é uma problemática atual, que, inclusive em estudos realizados, aponta a extrapolação do limite

de 60 dB estabelecido por lei.

Socialmente, diversas facetas precisam ser destacadas no Brasil, a começar por aspectos econômicos. O veículo elétrico mais barato disponível no país atualmente, pertence à categoria “sub compacto”, sendo, em tamanho, o menor possível, contando com apenas 4 lugares. Em termos de aquisição, são necessários o equivalente a 83 salários-mínimos para a compra desse automóvel, num contexto em que a renda média *per capita* no país, em 2023, foi de R\$2.846 e 10% dos mais ricos concentram 51% da renda nacional. Os impactos sociais estendem-se à questões de segurança onde, devido ao baixo ruído emitido por VEs, que são praticamente inaudíveis à baixa velocidade, dificultando a detecção de sua presença por pedestres e ciclistas, aumentando o risco de acidentes, em particular para pessoa com deficiência visual que utilizam dos sinais auditivos para transitar com segurança. Nesse contexto, comparando com outros países, a União Europeia é pioneira em decretar uma legislação que obrigue a emissão de aviso sonoro quando os veículos estão à baixa velocidade. A ascensão dos veículos elétricos implica, ainda, em outros impactos sociais, que atingem as classes de baixa renda, como no caso da China, que tem sua matriz elétrica dependente da queima de carvão mineral. A eletrificação da frota e maior demanda de energia elétrica implica na maior dependência das usinas geradoras, as quais estão frequentemente localizadas em regiões periféricas, local onde concentra-se a população de baixa renda, que é afetada por poluentes prejudiciais à saúde respiratória resultante da queima do combustível.

Economicamente, em um país de vasta extensão territorial e de grande capacidade de produção de etanol, o uso de veículos elétricos pode ser favorável ou não, a depender do local de recarga do VE. No contexto em que o veículo é abastecido na própria residência do proprietário, a despesa com combustível é reduzida em até 78%, quando comparado ao abastecimento à etanol, no entanto, esse cenário requer a instalação de postos de recarga, que, muitas vezes, fornece uma recarga lenta ao veículo, levando até 12 horas para a recarga completa, além do investimento inicial na infraestrutura. No cenário em que o veículo é abastecido em eletropostos, com carga rápida, e são cobrados R\$2,50 por KWh, a economia é de aproximadamente 22,8%. Cabe ressaltar, ainda, que o Brasil carece de eletropostos e a autonomia dos VEs é considerada baixa.

7 ESTUDO DE CASO

A empresa a ser analisada pertence ao setor metalúrgico, com uma unidade localizada no interior do estado de São Paulo. O objetivo é realizar a análise da viabilidade da troca da frota atual por uma frota de VEs, usando como base a distância percorrida pelos veículos no ano de 2023.

Foram levantados dados de: quilometragem percorrida em 2023, tipo de combustível utilizado, modelo de veículo e rendimento (em quilômetros/litro). A frota é majoritariamente abastecida à gasolina, logo, além da análise no cenário em que a frota é substituída por veículos elétricos, será analisado, ainda, a redução da emissão de CO₂ e possíveis redução de gastos quando abastecidos a etanol. A frota é composta por uma unidade de cada modelo dos veículos listados abaixo, com exceção do “Voyage (2023)”, com 5 unidades e o “Gol (2022)”, com 2 unidades também. A Tabela 11 a seguir apresenta os modelos de veículos que compõem a frota, seguido da categoria e seus respectivos rendimentos, além da distância percorrida no período, no cenário em que são abastecidos à gasolina.

Tabela 11: Frota de veículos e rendimento médio - Gasolina

Modelo	Categoria	Rendimento (km/L)	Distância Percorrida (km)	Emissão de CO₂ (ton CO₂)
Corolla Cross (2022)	Grande	11,26	17.118,74	3,363
Corolla Cross (2023)	Grande	13,28	43.018,76	7,165
Corolla Cross (2024)	Grande	10,04	2.579,71	0,568
Corola Cross XRE (2023)	Grande	11,54	26.285,96	5,040
Corola Cross XRE (2024)	Grande	14,22	11.936,35	1,856
Corolla /ALTIS (2023)	Grande	13,06	7.501,66	1,271
GOL (2023)	Pequeno	12,34	140.946,39	25,260
iX35 (2019)	U.E.C.	10,16	1.785,00	0,388
iX35 (2020)	U.E.C.	11,36	14.162,92	2,758

iX35 (2021)	U.E.C.	9,88	14.788,00	3,311
iX35 (2022)	U.E.C.	12,27	22.416,97	4,041
Onix (2023)	Médio	12,96	13.270,84	2,265
Onix (2024)	Médio	12,15	3.434,08	0,625
Onix Plus (2023)	Médio	15,00	86.776,55	12,796
Onix Plus (2024)	Médio	15,42	31.474,15	4,515
Renegade	U.E.C.	11,78	3.779,1	0,709
Virtus (2020)	Médio	13,91	30.760,76	4,892
Virtus (2021)	Médio	13,55	10.865,12	1,774
Virtus CL AD (2020)	Médio	14,05	71.164,74	11,204
Voyage (2022)	Médio	12,27	50.821,3	9,162
Voyage (2023)	Médio	14,47	482.713,89	73,791
Voyage 1.6 (2022)	Médio	10,64	5.472,40	1,137
Yaris (2023)	Médio	13,26	24.275,1	4,049

*U.E.C. – Utilitário Esportivo Compacto

Fonte: Autoria própria e PBEV (2024)

Para analisar o cenário em que os veículos são abastecidos à etanol, será utilizado a informação disponibilizada pela UDOP - União Nacional de Bioenergia, onde, para a frota atual de veículos *flex fuel* do Brasil, quando abastecidos com este biocombustível, há uma queda de 30% no rendimento. Os dados são apresentados na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12: Frota de veículos e rendimento médio - Etanol

Modelo	Categoria	Rendimento (km/L)	Distância Percorrida (km)	Emissão de CO₂ (ton CO₂)
Corolla Cross (2022)	Grande	7,88	17.118,74	3,164
Corolla Cross (2023)	Grande	9,30	43.018,76	6,742
Corolla Cross (2024)	Grande	7,03	2.579,71	0,534
Corola Cross XRE (2023)	Grande	8,08	26.285,96	4,741
Corola Cross XRE (2024)	Grande	9,95	11.936,35	1,747
Corolla /ALTIS (2023)	Grande	9,14	7.501,66	1,195
Gol (2022)	Pequeno	8,64	140.946,39	23,774
iX35 (2019)	U.E.C.	7,11	1.785,00	0,365
iX35 (2020)	U.E.C.	7,95	14.162,92	2,595
iX35 (2021)	U.E.C.	6,92	14.788,00	3,115
iX35 (2022)	U.E.C.	8,59	22.416,97	3,803
Onix (2023)	Médio	9,07	13.270,84	2,131
Onix (2024)	Médio	8,51	3.434,08	0,588
Onix Plus (2023)	Médio	10,50	86.776,55	12,041
Onix Plus (2024)	Médio	10,79	31.474,15	4,248
Renegade	U.E.C.	8,25	3.779,1	0,667
Virtus (2020)	Médio	9,74	30.760,76	4,603
Virtus (2021)	Médio	9,49	10.865,12	1,669
Virtus CL AD (2020)	Médio	9,84	71.164,74	10,542
Voyage (2022)	Médio	8,59	50.821,3	8,621
Voyage (2023)	Médio	10,13	482.713,89	69,435
Voyage 1.6 (2022)	Médio	7,45	5.472,40	1,070
Yaris (2023)	Médio	9,28	24.275,1	3,810

*U.E.C. – Utilitário Esportivo Compacto

Fonte: Autoria própria e PBEV (2024)

A Tabela 13 a seguir apresenta a somatória dos dados apresentados nas Tabelas 11 e 12, sendo apresentados por tipo de combustível utilizado.

Tabela 13: Somatória de dados estimados para diferentes abastecimentos da frota.

	Distância percorrida em 2023 (km)	Emissão de CO₂ em 2023 (ton)	Gasto com combustível em 2023 (R\$)	Preço médio 2023 (R\$/ L de combustível)
Etanol	1.117.348,489	171,20	419.500,08	3,57
Gasolina		181,94	444.660,27	5,52

Fonte: Autoria Própria (2024)

Para analisar o cenário em que toda a frota fosse substituída por VEs, realizou-se o cálculo de emissão de CO₂ para a distância percorrida no ano de 2023, substituindo os automóveis por VEs de mesma categoria, apresentados na Tabela 14 a seguir:

Tabela 14: Frota de veículos e rendimento médio - VEs

Modelo	Categoria	Distância Percorrida (km)	Consumo (kWh)	Emissão de CO₂ (ton)
Volvo C40	Grande	108.441,19	18.073,53	0,8440
Mini Cooper S Electric	Pequeno	140.946,39	22.708,03	1,060
e-JS4	Utilitário Esportivo Compacto	56.932	9.488,65	0,4431
Chevrolet Bolt	Médio	811.028,93	108.137,2	17,679
Soma			158.407,42	20,03

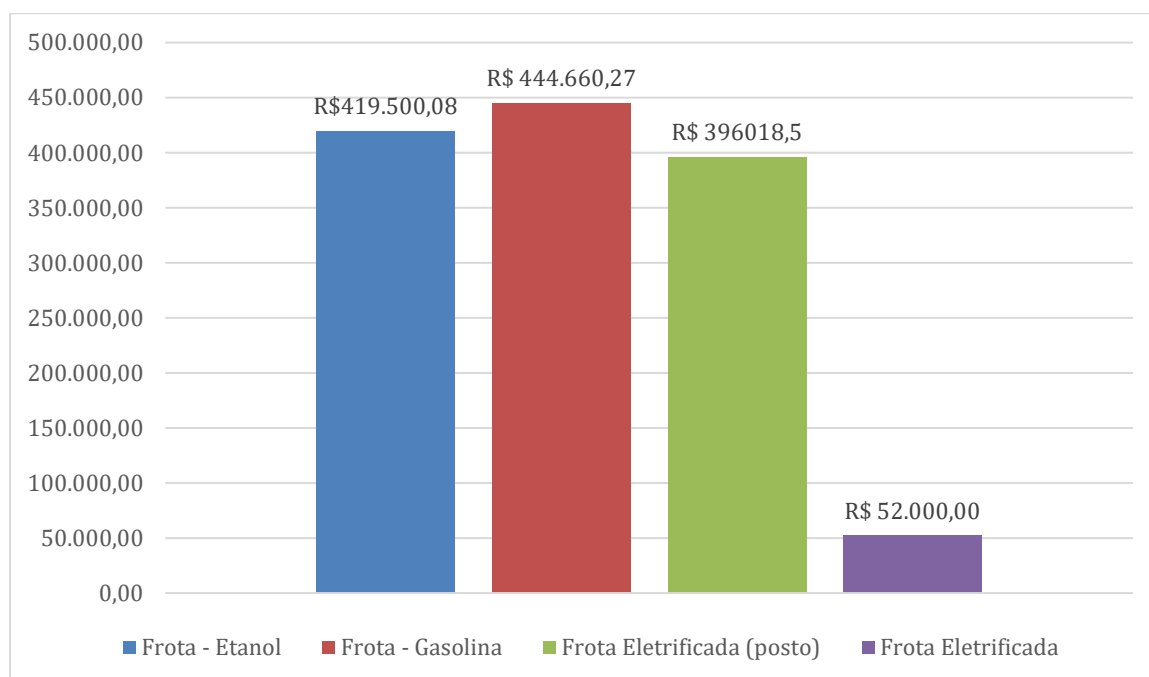
Fonte: Autoria própria e PBEV (2024)

Os resultados apresentam o aumento de consumo de energia elétrica de 158.407,42 kWh ao ano, onde, diluído ao longo dos meses, representam um acréscimo mensal de 13.200,62 kWh. O consumo médio mensal de energia da empresa analisada é de 173.584,5 kWh, com valores mínimos e máximos de 155.750,0 e 193.340,0, respectivamente.

Estima-se que, ao final do ano, com a substituição da frota, o custo total com energia elétrica seria de aproximadamente R\$52.000,00, representando um acréscimo de aproximadamente R\$4.334,00 as faturas mensais de energia elétrica. Analisando, ainda, a questão de infraestrutura, pode-se afirmar que a indústria seria abastecida com energia elétrica suficiente para o abastecimento, considerando que o pico de consumo registrado foi de 193 MWh, a média de consumo mensal acrescida da energia utilizada para o abastecimento da frota, seria de 186,7 MWh.

A comparação de valor despendido para os três cenários levantados anteriormente (frota atual -abastecida a gasolina-, frota abastecida a etanol e frota eletrificada) é apresentada na Figura 11 a seguir.

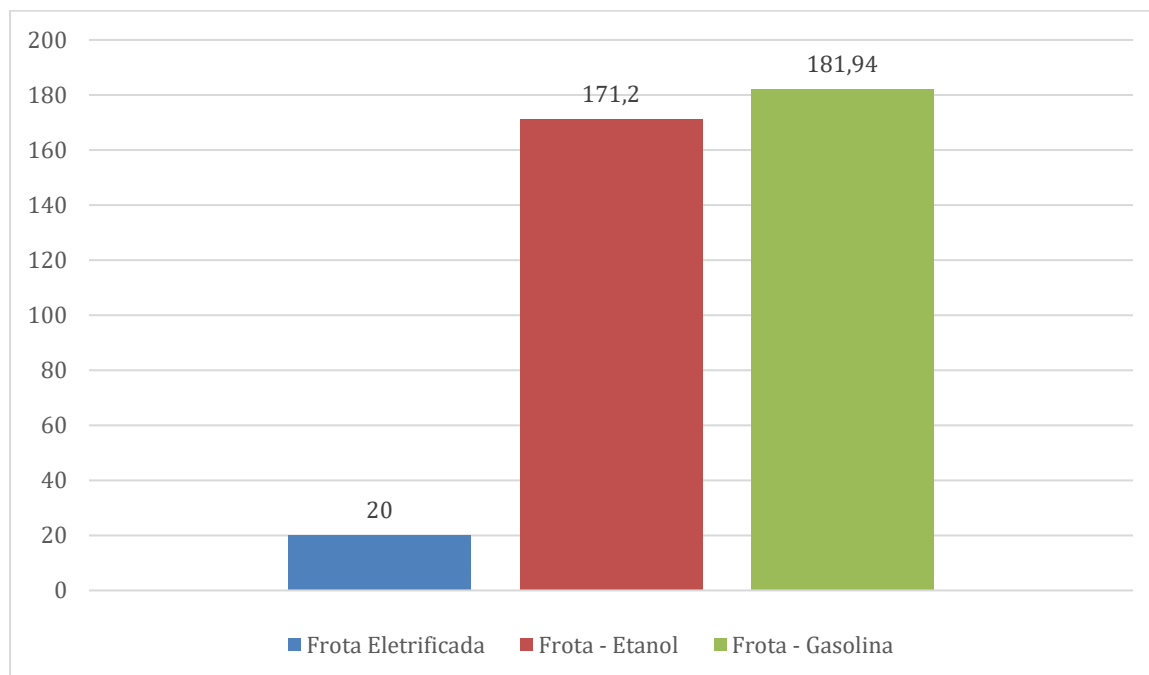
Figura 11: Custo anual de abastecimento por combustível



Fonte: Autoria Própria (2024)

Ambientalmente, a Figura 12 a seguir apresenta as emissões de CO₂ (ton) para cada combustível utilizado.

Figura 12: Emissões de CO₂ anual por combustível utilizado



Fonte: Autoria Própria (2024).

Em síntese, os dados apresentam uma redução de 89% na emissão de CO₂ comparando o cenário de frota abastecida a gasolina e a energia elétrica, além de uma redução de 98% no custo de abastecimento. Entretanto, nessa análise, deve-se considerar que a frota seria abastecida na própria empresa, além de necessário realizar um estudo aprofundado dos custos envolvidos na instalação de postos de recarga. O contrato vigente na empresa analisada contém subsídios, o que justifica seu custo reduzido quando comparado aos valores encontrados para residência. Caso os veículos fossem abastecidos em eletropostos, a redução seria de aproximadamente 8,9%, superando a economia quando comparado ao etanol.

Realizando a estimativa de pegada ecológica da empresa, considerando apenas o setor de transporte, obtém-se as PEs apresentadas na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15: PE por combustível

Combustível	Pegada Ecológica (gha)
Gasolina	0,049
Etanol	0,046
Energia Elétrica	0,0054

Fonte: Autoria Própria (2024)

Os resultados obtidos, em primeira análise, não apresentam preocupação, no entanto, deve-se ressaltar que a análise foi realizada considerando apenas o setor de transportes da empresa (utilizado por 150 funcionários, equivalente a pouco mais de $\frac{1}{4}$ do quadro de colaboradores da empresa) e toda a extensão de mata atlântica e cerrado do município do interior paulista para o sequestro de CO₂. Segundo o Ministério do Transporte, em dezembro de 2023, a frota de automóveis circulantes no município era de 112.576 e, considerando que, por ano, todos percorrem a média de 5.500 quilômetros (metade da média nacional, entretanto, muitas famílias possuem mais de um veículo, reservando um deles a passeio), obtém-se a PE do setor de transportes no município de 2,74 (gha) quando abastecido a gasolina, 2,28 (gha) para etanol e 1,95 (gha) quando movidos à energia elétrica. Colocando em perspectiva, a empresa analisada é responsável por 1,78% da pegada ecológica de todo município. Entretanto, analisando sob outra perspectiva, a frota analisada é composta por 28 veículos, o que corresponde a 0,02% da frota total circulante na cidade. Caso todos os veículos percorressem a mesma distância da empresa analisada, a PE seria de 245 gha, representando o aumento significativo de 8.941%. Essa análise demonstra que os impactos ambientais causados pela indústria em questão são substanciais.

Embora os resultados apresentados sejam favoráveis aos veículos elétricos, é importante considerar que as baterias atuais têm baixa autonomia por recarga, cerca de 300 km. Além disso, esses veículos são amplamente utilizados para viagens longas, muitas vezes interestaduais. No Brasil, a má distribuição de eletropostos é outro desafio, sendo mais concentrados no Estado de São Paulo. Assim, a substituição da frota atualmente não é viável devido à falta de infraestrutura.

8 CONCLUSÃO

A eletrificação veicular, embora seja uma tendência global, deve ser analisada com criticidade diante da realidade do Brasil. Do ponto de vista social, a adoção de veículos elétricos no país é desigual, limitando-se majoritariamente à classe alta, devido à escassez de pontos de recarga e à falta de subsídios governamentais adequados. Sob uma perspectiva ambiental, embora a eletrificação possa ser vantajosa, tal benefício só se concretiza com a utilização de fontes de energia renováveis, algo que o Brasil, apesar de sua diversidade de fontes, não consegue suprir completamente sem recorrer a combustíveis fósseis, o que aumentaria as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, considerando o fato de que o Brasil é um grande produtor de etanol, uma alternativa também renovável, a eletrificação total da frota, neste momento, não se apresenta como a opção mais viável.

Economicamente, a substituição dos veículos tradicionais por elétricos mostra-se vantajosa apenas quando o carregamento é feito em redes domésticas, o que requer cerca de oito horas para uma carga completa. Ao considerar os pilares social, ambiental e econômico, conclui-se que a eletrificação veicular, no contexto brasileiro atual, não se configura como uma alternativa mais sustentável. No entanto, o estudo de caso realizado indica que, para a indústria metalúrgica analisada, a substituição para veículos elétricos se mostra viável devido ao contrato específico com a distribuidora de energia e à garantia de que 50% da energia utilizada é proveniente de fontes renováveis.

REFERÊNCIAS

“Mover: Programa de Mobilidade Verde é lançado”. **GOV**, 30 dez. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/12/mover-novo-programa-amplia-acoes-para-mobilidade-verde-e-descarbonizacao>>. Acesso em 23 mar 2024.

10% mais ricos concentraram 51% da renda em 2022. **Agência Brasil**, 22 ago. 2024. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/economia/audio/2024-01/10-mais-ricos-concentraram-51-da-rendaem2022#:~:text=O%20estudo%20analizou%20dados%20das,14%25%20do%20total%20de%20ganhos>>. Acesso em: 02 jul. 2024.

20 anos de carros flex no Brasil. **GOV**, 24 mar. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2023/03/20-anos-de-carros-flex-no-brasil>>. Acesso em: 12 mai. 2024.

Acordo de Paris. **GOV**, 29 jun. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/acordo-de-paris>>. Acesso em 23 mar. 2024.

ALVARES JUNIOR. O.M.; LINKE, R.R.A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases de efeito estufa**. CETESB, São Paulo. v. 14, n. 06, p. 2011, 2001.

Análise Setorial e Informações do Mercado Financeiro. **LAFIS**. Disponível em: <<https://www.lafis.com.br/blog/ve%C3%ADculos-leves-e-mobilidade/--Investimentos-de-montadoras-ultrapassam-a-centena-de-R>>. Acesso em: 02 mai. 2024.

ANDERSON, Curtis D; ANDERSON, Judy. **ELECTRIC AND HYBRID CARS: A History**. 1ª ed. Jefferson: MCFARLAND & CO INC, 2004.

ANDRADE, E. T.; DE CARVALHO, S. R. G.; DE SOUZA, L. F. **Programa do Proálcool e o etanol no Brasil**. UFF: Engevista, vol.11, n.02, 2009.

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz de Capacidade de Geração e Operação do Brasil**. Brasília: MME, 2024.

Avaliação de Impacto do Programa Inovar-Auto. **MDIC**, dez. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/images/REPOSITORIO/sdci/InovarAuto/Avaliacao_dea_Impactoa_-a_Inovar-Auto.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2024.

Brasileiro roda mais com o carro no primeiro ano de uso, aponta pesquisa. **ASSOBRAV**,

2024. Disponível em: <<https://www.assobrav.com.br/noticias/curiosidades/brasileiro-rodas-mais-com-o-carro-no-primeiro-ano-de-uso-aponta-pesquisa/>>. Acesso em: 13 mai. 2024.

BALDINO JUNIOR, A. C.; CRUZ, A. J. G.. **Fundamentos de Balanço de Massa e Energia**. 2 ed. São Carlos: EdUFSCar, 2013.

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade**. 139 f. Tese (Doutorado) – UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

BARAN, R.; LEGEY, L. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. In: **XIII Congresso Brasileiro de Energia**, 2010, Brasil, n. XIII, p. 207–224, 2010. Disponível em: <http://www.bndespar.com.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3306.pdf>, Acesso em: 12 mar. 2024.

BARASSA, E. **Trajetória tecnológica do veículo elétrico: autores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica)- Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2015.

BARASSA, E.; CRUZ, R. F.; MORAES, H. B. (2023). **3º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica**. Brasília: PNME/Deutsche Zusammenarbeit/GIZ/ICS.

Disponível em: <<https://pnme.org.br/wp-content/uploads/2023/12/3o-Anuario-Brasileiro-de-Mobilidade-Eletrica.pdf>>. Acesso em 15 mai 2024.

BARBOSA, J. H., FERNANDES P. F., APARECIDO, R. M. B. *Fauna do município de Araraquara – SP*. v 1.1. Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira – SiBBr, 2018. Disponível em: <https://ipt.sibbr.gov.br/sibbr/resource?r=fauna_do_municipio_de_araraquara-sp&v=1.1>. Acesso em: 2 jul 2024.

BARLOW, D.; BLADEN, S.; HANSSON, C. B.; DESCHUTTER, G.; EGHENTER, C.; GROOTEN, C.; HADEED, L.; LUZ, K.; POLLARD, D.; RAO, T.; STAFFORD, R. **Planeta Vivo Relatório 2010** – biodiversidade, biocapacidade e desenvolvimento. WWF International: Gland, Zoological Society of London: London, Global Footprint Network: Oakland, 2010.

BUENO, F. “Eletrificar a frota não significa ter mobilidade sustentável e justa para toda a sociedade”. **Jornal da USP**, 08 dez. 2023. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/radio-usp/eletrificar-a-frota-nao-significa-ter-mobilidade-sustentavel-e-justa-para-toda-sociedade>>. Acesso em: 12 ago. 2024.

BUFFON, J. 5 carros zero km mais baratos do Brasil em maio de 2024. **Terra**, 6 mai. 2024. Mobilidade. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/mobilidade/carros/5-carros-zero-km-mais-baratos-do-brasil-em-maio-de-2024,bee4675718b53fd51005fef6b10f0d9ctehfz76o.html>>. Acesso em: 12 mai. 2024.

Boletim de monitoramento do sistema elétrico: junho de 2022. **MME**, jun. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-nacional-energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2022/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico-jun-2022.pdf>> Acesso em: 16 Jun. 2024.

BORGES, Marcus Jorge.; BRITTO, Lays & NUNES, Debora. Indicadores de sustentabilidade: pegada ecológica urbana. Revista Colóquio – **Revista do Desenvolvimento Regional** – Faccat, v. 15, n° 1, 2018. Disponível em: <http://seer.faccat.br/index.php/coloquio/article/view/772/582>. Acesso em 18 mai. 2024

BRASIL. **Lei 13.755**: Programa Rota 2030: Mobilidade e Logística. Brasília: Presidência da República, 2018.

Brasil vai dobrar quantidade de eletropostos em 2025, diz entidade. **Nova Cana**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/brasil-dobrar-quantidade-eletropostos-2025-entidade-040324>>. Acesso em 13 mar de 2024.

BRESSANE, Adriano et al. Sistema de apoio à avaliação de impactos da poluição sonora sobre a saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.I.], v. 32, n. 5, p. e00021215-1-e00021215-11, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00021215>. Acesso em: 29 mar. 2024.

CABRAL NETO, J. P.; SANTOS, S. M.; PIMENTEL, R. M. M.. Infraestrutura energética brasileira: perspectivas e desafios para o suporte aos veículos elétricos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.1, p.385-396, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0032>

CABRAL, U. A. Em 2023, massa de rendimentos e rendimento domiciliar per capita atingem recorde. **Agência IBGE Notícias**, 14 abr. 2024. Disponível em: <[https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39809-em-2023-massa-de-rendimentos-e-rendimento-domiciliar-per-capita-atingem-recorde#:~:text=J%C3%A1%20o%20rendimento%20m%C3%A9dio%20mensal,2019%20\(R%24%202.927\)](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39809-em-2023-massa-de-rendimentos-e-rendimento-domiciliar-per-capita-atingem-recorde#:~:text=J%C3%A1%20o%20rendimento%20m%C3%A9dio%20mensal,2019%20(R%24%202.927).>)>. Acesso em: 18 jul. 2024.

CARVALHO, C. H. R. **Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2011, 42.

CASTRO, B. H. R. D.; FERREIRA, T. T.. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. **BNDES Setorial**, n. 32, set. 2010, p. 267-310, 2010.

CESAR, J. BYD Dolphin mini 5 lugares preço. **INSIDEEVS**, 5 jul. 2024. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/news/725671/byd-dolphin-mini-5lugares-preco/#>>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional: Síntese 2024**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024: Ano base 2023**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2024. Disponível em: <<https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>>. Acesso em: 03 Jul 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet-2024.pdf>>. Acesso em: 16 Jun 2024.

Estudo sobre arrecadação de IPVA e sua proporcionalidade em relação à frota de veículos em circulação e a população brasileira. **IBPT**. Disponível em: <<https://ibpt.com.br/estudo-sobre-arrecadacao-de-ipva-e-sua-proporcionalidade-em-relacao-a-frota-de-veiculos-em-circulacao-e-a-populacao-brasileira/>>. Acesso em: 18 Jul. 2024.

EWING, Brad et al. Calculation Methodology for the National Footprint Accounts. **Global Footprint Network**, p. 1-19, 2010.

FASIABEN, M. C. R. ; MAIA, A. G. ; Barioni, L. G. ; LAZOU, J. Composição da pegada ecológica no Brasil: participação da agropecuária e mecanismos de mitigação. In: **Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, 2011, Brasília. Políticas públicas e a perspectiva da economia ecológica, 2011.

FEDRIGO, N. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro. **Encontro nacional de conforto no ambiente construído**, v. 10, p. 367-376, 2009.

Frota de veículos 2023. **Ministério dos Transportes**, 1 mar. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2023>>. Acesso em: 16 Jun. 2024.

Frota de Veículos 2024. **Ministério dos Transportes**, 26 fev. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

GEHRINGER, M. O carro no Brasil. **Quatro Rodas**, ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

GOLDIE-SCOT, L. A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices. **Bloomberg NEF**, Blog, 5 Mar. 2019. Disponível em: <<https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-takelithium-ion-battery-prices/>> Acesso em: 02 mai 2024.

HASNER, C.; ALVES SANTOS, D.; ALVES DE LIMA, A. Etanol no Brasil: Evolução do Patenteamento de Tecnologias de Fermentação para a Produção de Etanol Combustível de Cana-de-Açúcar no Período de 2007 a 2014. **Cadernos de Prospecção**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 133, 2015. DOI: 10.9771/s.cprosp.2015.001.015. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/11657>>, Acesso em: 23 mar. 2024.

HOLTSMARK, B.; SKONHOFT, A. The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries? **Environmental Science & Policy**, v. 42, p. 160-168, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.06.006>>. Acesso em: 18 jul. 2024.

Imposto de importação para veículos eletrificados será retomado em janeiro de 2024. **MDIC**, 22 nov. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/novembro/imposto-de-importacao-para-veiculos-eletrificados-sera-retomado-em-janeiro-de-2024>>. Acesso em 22 mai. 2024.

Informativo -Emplacamentos: Dezembro de 2023. **Fenabreve**, São Paulo, jan. 2024. Disponível em: <https://www.fenabreve.org.br/portal/files/2023_12_2.pdf> Acesso em: mar. 2024.

JATOBÁ. A diferença entre carros híbridos e elétricos. **Universo Jatobá**, São Paulo, 2014.

Ji, S. Electric vehicles in China: emissions and health impacts. **Environmental Science and Technology**, 46, p. 2018-2024, 2012.

JÚNIOR, Ilor Bressiani et al. Fibras naturais e compósitos nas indústrias de mobilidade. **Mix Sustentável**, v. 6, n. 4, p. 129-138, 2020. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/4075>. Acesso em: 19 maio. 2024.

JUNIOR, J. A. C.; SANTOS, L. B. Estado e Indústria Automobilística no Brasil: Análise das Políticas Inovar-Auto e Rota 2030. **ENTRE-LUGAR**, v. 11, n. 21, p. 101-127, 2020. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/12051>>. Acesso em: 26 mar. 2024.

KOBAYASHI, S.; PLOTKIN, S.; RIBEIRO, S. K.. Energy efficiency Technologies for road vehicles. **Energy Efficiency**, v.2, p. 125-137, 2009.

LAMIM-GUEDES, Valdir. Pegada ecológica: consumo de recursos naturais e meio

ambiente. **Educação Ambiental em Ação**, v. 38, 2011a. Disponível em <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1168&class=41>>. Acesso em: 02 mai 2024.

LEITE, Rodrigo Peixoto. **Painel de automóveis populares: o design do cluster de direção sob o aspecto da ergonomia informacional**. Rio de Janeiro: Dissertações de mestrado PUC, 2006. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0410906_06_cap_03.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2024

LIMA NETO, I. E.. Tamanho de bolhas de ar formadas por difusores não porosos na água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 175–180, abr. 2015.

LUTSEY, N.; NICHOLAS, M. Update on electric vehicle costs in the United States through 2030. **Int. Counc. Clean Transp**, v. 12, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV_cost_2020_2030_20190401.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2024.

MELO, A. S.; SAMPAIO, Y. S. B. IMPACTOS DOS PREÇOS DA GASOLINA E DO ETANOL SOBRE A DEMANDA DE ETANOL NO BRASIL. **Revista de Economia Contemporânea**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 56-83, abr. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/141598481813>.

MELO, Marilda Resende de. **A pegada ecológica urbana: o caso da cidade de Araguari - MG**. 2013. 280 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.te.2013.73>

MENA, Rafael Maciel. **Análise de veículos a bateria no Brasil: Uma abordagem SWOT**, 2020. Dissertação (mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

MENDONÇA, M. et al. Veículos elétricos no Brasil: O potencial brasileiro para a transição de modelos de locomoção. **Revista técnico-científica do CREA-PR**, v. 1, n. 32, p. 1-14, abr. 2023. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/880/657>. Acesso em 23 mar 2024.

Mobilidade sustentável: o crescimento do mercado de carros elétricos no Brasil. **EXAME**. 22 dez. 2023. Disponível em: <<https://exame.com/brasil/mobilidade-sustentavel-o-crescimento-do-mercado-de-carros-eletricos-no-brasil/>>. Acesso em maio 2024.

MONTEIRO, G. Carros elétricos podem acabar com 12% dos empregos na indústria automotiva. **Abril**, 11 jan. 2021. Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/carros-eletricos-podem-acabar-com-12-dos-empregos-na-industria-automotiva.>>. Acesso em: mai. 2024.

MOWERY, D. C. e ROSENBERG, N. Trajetórias da Inovação – mudança tecnológica nos

Estados Unidos da América no século XX. **Clássicos da Inovação**. Editora da Unicamp (original de 1998), Introdução e cap. 1. 2005

NASTARI, A. O impacto do etanol na matriz energética do Brasil: uma análise das políticas e resultados recentes. **Revista Brasileira de Energia**, v. 24, n. 1, p. 55-68, 2021.

Número de carros elétricos no Brasil. **NEOCHARGE**. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil>>. Acesso em: 02 Mai. 2024.

NOCELLI, R. C. F et al. Histórico da cana-de-açúcar no Brasil: contribuições e importância econômica. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**, p. 13, 2017.

PEREIRA, F. Sonho de consumo do brasileiro, carro elétrico é escanteado por montadoras. **UOL**, Brasília, 19 fev. 2024. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2024/02/19/preco-e-falta-de-infraestrutura-carros-eletricos-decolar.htm>>. Acesso em: 12 mai 2024.

PERONI, J. Carro novo no Brasil vira artigo de luxo e exige 50 salários-mínimos. **Estadão**, 28 mar. 2023. Disponível em: <<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/carro-novo-no-brasil-vira-artigo-de-luxo-e-exige-50-salarios-minimos>>. Acesso em: 2 mai. 2024.

Pesquisa de Preços dos Combustíveis – **Sincomercio Araraquara**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjQ2YWlyMmItMjEwNy00MWNjLWE2NTUtNDMxZDQwMDQwYjg4IiwidCI6IjY4MTEwMjdjLTkyMWMtNDkxZC04OTBiLTZmZThhOTdhNDRhYSJ9&pageName=ReportSectioneea69fdd650473278a8a>>. Acesso em: 22 Jun. 2024.

PILAR, A. F. Brasileiro precisa de 50 salários-mínimos para comprar carro popular; há quatro anos eram necessários 31. **O Globo**, Rio de Janeiro, 26 jan. 2023. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/noticia/2023/05/brasileiro-precisa-de-50-salarios-minimos-para-comprar-carro-popular-ha-quatro-anos-eram-necessarios-31.ghtml>>. Acesso em: 19 mai. 2024.

Preço do etanol cai em 14 estados, sobe em 8 e no DF e fica estável em outros 4, mostra ANP. **UOL Economia**, São Paulo, 13 maio 2024. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/estadao-conteudo/2024/05/13/preco-do-etanol-cai-em-14-estados-sobe-em-8-e-no-df-e-fica-estavel-em-outros-4-mostra-anp.htm>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

RANDALL, T. Here's How Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis. **Bloomberg NEF**, 25 Feb. 2016. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/>>. Acesso em: 02 mai 2024.

Ranking das tarifas de energia elétrica. **Portal Relatórios**, 2024. Disponível em: <<https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/rankingtarifas>>. Acesso em: 18 jun. 2024.

RODRIGUEZ, T. B; CONSONI, F. “Uma abordagem da dinâmica do desenvolvimento científico e tecnológico das baterias lítio-íon para veículos elétricos”. **Revista Brasileira de Inovação**, vol. 19, agosto de 2020, p. e0200014, P. 1-33, 2020.

ROSATO, A.; SIBILIO, S.; CIAMPI, G.; ENTCHEV, E.; RIBBERINK, H.. Energy, Environmental and Economic Effects of Electric Vehicle Charging on the Performance of a Residential Building-integrated Micro-trigeneration System. **Energy Procedia**, v.111, n.September 2016, p.699-709, 2017. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.232>

RØSTVIK, H. N. The mobility revolution as seen through Norwegian eyes. **Architectural Science Review**, v. 61, n. 5, p. 362-366, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1502152>>. Acesso em: 16 jul. 2024.

Seleção de estados gasolina. **Petrobras**, 2024. Disponível em: <<https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-gasolina>> Acesso em: 22 jun. 2024.

SCOTTI, M., BONDAVALLI, C., BODINI, A. Ecological footprint as a tool for local Sustainability. The municipality of Piacenza (Italy) as a case study. **Environmental Impact Assessment Review**. Vol 29, pp 39-50. 2009.

SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Nota Metodológica SEEG 11 – Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas**. Observatório do Clima, 2024. Disponível em: < <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/04/SEEG-NM-MUT.pdf>>. Acesso em: 16 jul 2024.

Shell Recharge. **SHELL Brasil**. Disponível em: <<https://www.shell.com.br/motoristas/shell-recharge.html>>. Acesso em: 11 Jun. 2024.

SHELL International B.V. **Shell Recharge**. Versão 7.0.0. [S.l.]: Apple Inc., 2024. Aplicativo móvel. Disponível em: <https://apps.apple.com/be/app/shell-recharge/id549121633>. Acesso em: 16 Jul. 2024.

Sobre os Postos Shell. **SHELL Brasil**. Disponível em: <https://www.shell.com.br/motoristas/postos-shell/sobre-os-postos-shell.html>. Acesso em: 16 Jul. 2024.

SIANO, D.; GONZÁLEZA. E. **Noise and environment**. London: IntechOpen, 2021.

T. de Azevedo, C. Costa Junior, A. Brandão Junior et al. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. **Nature Sci Data**, v. 5, 180045, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/sdata.2018.45>>. 13 mai. 2024.

VAN MIERLO, J.; MESSAGIE, M.; RANGARAJU, S.. Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment. **Transportation Research Procedia**, v.25, p.3439-3449, 2017.
DOI:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.244>

WESTBROOK, M. H. **The Electric Car: Development and future of Battery, hybrid and fuel-cell cars** The Institution of Engineering and Technology, Michael Faraday House, Six Hills Way, Stevenage SG1 2AY, UK: IET, 2001.

WOLFFENBUTTEL, R. F. **A produção social da inovação: o automóvel elétrico e as redes de inovação no Brasil**. Porto Alegre: Cirkula, 2021.

WOLFFENBUTTEL, R. F. Políticas setoriais e inovação: Entraves e incentivos ao automóvel elétrico no Brasil. **Revista Brasileira de Inovação**. v. 21. 2022.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 17. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2002. 347p.

WWF Brasil. Disponível em:

<https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/pegada_ecologica_global/#:~:text=Atualmente%2C%20a%20m%C3%A9dia%20mundial%20da>. Acesso em maio. 2024.

WWF (2022). Relatório Planeta Vivo 2022 – Construindo uma sociedade positiva para a natureza. Almond, R. E. A., Grooten, M., Juffe Bignoli, D. & Petersen, T. (Eds.). WWF, Gland, Suíça.

YAMAWAKI, M. **Evolução tecnológica dos materiais e geometria de pistões para motores de combustão interna e um estudo de caso de pistão para aplicação em motor diesel com trinca no cubo**. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2013.

Your key to European statistics. **EUROSTAT**. 2019. Disponível em:

<<https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>>. Acesso em: 02 jul. 2024.