

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS-CAMPUS BETIM

BRENO VINÍCIUS DOS SANTOS FARIAS

CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS: Desafios para evolução da eletrificação de
Frotas

Betim
2025

BRENO VINÍCIUS DOS SANTOS FARIAS

CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS: Desafios para evolução da eletrificação de
Frotas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, como requisito parcial para a Obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador. Prof. Me. Bruno de Souza Baptista

Betim

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

F224c Farias, Breno Vinicius dos Santos

Carros elétricos e híbridos: desafios para evolução da
eletrificação de frota / Breno Vinicius dos Santos Farias. – 2025

84 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em
Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais, Campus Betim, 2025.

Orientação: Prof. Me. Bruno de Souza Baptista

1. Veículos elétricos. 2. Veículos híbridos. 3. Mobilidade urbana. 4.
Sustentabilidade. 5. Engenharia Mecânica. I. Farias, Breno Vinicius dos
Santos. II. Título.

CDU: 629.33



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Betim Diretoria de Ensino Docentes Mecânica
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG 3135976360 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 12 dias do mês de Fevereiro do ano de 2025, às quatorze horas, nas dependências do IFMG – *Campus Betim*, reuniu-se a banca examinadora presidida por mim, Bruno de Souza Baptista e demais membros, Flávio Magno de Carvalho Fonseca, professor e Felipe Augusto Rocha da Silva, professor externo. Nesta ocasião o discente Breno Vinícius dos Santos Farias, do curso de Bacharelado e m Engenharia Mecânica, com registro acadêmico de número 0029563 do IFMG – *Campus Betim*, defendeu seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS: Desafios para evolução da eletrificação de Frotas” e foi APROVADO, com 80 (oitenta) pontos.

Este resultado reflete o cumprimento parcial dos critérios de avaliação estabelecidos pelo curso e reconhece os esforços e a dedicação do discente e seu orientador no desenvolvimento do seu TCC. O lançamento da nota e o consequente encerramento do respectivo processo está condicionado ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa conforme previstos nos regulamentos vigentes. Tais procedimentos pós-defesa devem ser finalizados dentro do prazo limite de 20 dias, a contar da data desta ata. O descumprimento destes procedimentos até a data estipulada implicará em atribuição de nota 0 (zero) e consequente reprovação.

A sessão foi encerrada às quinze horas e trinta minutos. Para constar, eu, Bruno de Souza Baptista, redigi a presente ata que após lida publicamente, foi aprovada e assinada pelo discente e membros da banca examinadora.

Betim, 25 de fevereiro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno de Souza Baptista**, **Professor**, em 25/02/2025, às 14:45, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Augusto Rocha da Silva**, **Usuário Externo**, em 25/02/2025, às 15:38, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Magno de Carvalho Fonseca**, **Professor**, em 25/02/2025, às 19:00, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Breno Vinicius dos Santos Farias**, **Aluno**, em 26/02/2025, às 13:35, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2214262** e o código CRC **B9FF5C14**.

23792.001253/2023-21

2214262v1

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pela proteção e orientação ao longo de toda essa jornada. Sou imensamente grato à minha família, especialmente à minha mãe, a quem não encontro palavras suficientes para expressar minha gratidão. Ela nunca desistiu de nós, e por isso, sou eternamente grato. À minha esposa, que sempre esteve ao meu lado com amor e apoio incondicional, meu sincero agradecimento. Não poderia deixar de agradecer à minha base de vida, à mãe Priscila, à Penha, à Família Mendonça, que se tornou também minha família, e aos meus irmãos, que sempre me apoiaram de forma constante e sólida.

E para finalizar agradeço à instituição IFMG, que foi essencial nessa trajetória, e de forma especial a alguns professores que marcaram minha caminhada. São pessoas dedicadas, que, com muito carinho e comprometimento, fazem a diferença na vida de seus alunos: Bruno Baptista, Gabriel Mendes, Ezequiel e Norimar Verticchio.

Muito obrigado!

.

Resumo

No ano de 1886, Karl Benz patenteou o primeiro automóvel, marcando o início de uma revolução tecnológica no setor automotivo. A partir deste marco, aspectos como eficiência, desempenho, ergonomia e sustentabilidade dos veículos automotores foram sendo desenvolvidos ao longo do tempo. No final do século XIX, Ferdinand Porsche inovou ao conceber os primeiros veículos elétricos e híbridos, sinalizando uma direção promissora. Posteriormente, na década de 1970, a crise do petróleo amplificou o debate a respeito da introdução de veículos elétricos no mercado, motivado, principalmente, pela necessidade de redução da dependência do petróleo provocado pela elevação dos preços do barril. Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar as oportunidades e desafios da malha viária, além da análise de impactos e adaptações necessárias para o desenvolvimento de uma frota de veículos elétricos e híbridos, levando em consideração tanto a infraestrutura pública quanto a privada. A crescente preocupação com as emissões de gases poluentes como CO₂ e SO_x, por exemplo, especialmente no setor de mobilidade urbana, impulsiona a busca por alternativas ecológicas e eficientes. Neste trabalho, pôde ser observado que os automóveis elétricos contribuem para a redução da poluição sonora e do ar, devido ao fato de serem silenciosos e de não emitirem gases poluentes. Este trabalho abordou os desafios e adaptações para os veículos elétricos (EVs) e híbridos (HEVs), assim como as limitações presentes no cenário nacional. Além de abordar a visão geral em termos de estruturas e alterações necessárias para os EVs e HEVs, uma pesquisa foi realizada para analisar a percepção de proprietários e entusiastas desses tipos de veículos em busca de uma contextualização aprofundada do mercado.

Palavras-chave: Veículos elétricos; Veículos híbridos; Infraestrutura; Sustentabilidade; Mobilidade urbana.

ABSTRACT

In 1886, Karl Benz patented the first automobile, marking the beginning of a technological revolution in the automotive sector. From this milestone onward, aspects such as efficiency, performance, ergonomics, and sustainability of motor vehicles have been developed over time. At the end of the 19th century, Ferdinand Porsche innovated by designing the first electric and hybrid vehicles, signaling a promising direction. Later, in the 1970s, the oil crisis amplified the debate regarding the introduction of electric vehicles to the market, driven mainly by the need to reduce oil dependency caused by rising crude oil prices. In this context, the objective of this study was to analyze the opportunities and challenges related to road infrastructure, as well as the impacts and adaptations necessary for the development of a fleet of electric and hybrid vehicles, considering both public and private infrastructure. The growing concern about emissions of pollutants such as CO₂ and SO_x, particularly in the urban mobility sector, drives the search for ecological and efficient alternatives. This work observed that electric vehicles contribute to the reduction of noise and air pollution, as they are silent and emit no pollutants. It addressed the challenges and adaptations for electric vehicles (EVs) and hybrid electric vehicles (HEVs), as well as the limitations present in the national context. In addition to providing an overview of the necessary structures and modifications for EVs and HEVs, a survey was conducted to analyze the perception of owners and enthusiasts of these types of vehicles, aiming to offer an in-depth contextualization of the market.

Keywords: Electric vehicles 1; Hybrid vehicles 2; Infrastructure 3; Sustainability 4; urban mobility 5.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS VEs	23
TABELA 2 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO MOTOR SÍNCRONO	35
TABELA 3 - TIPOS DE BATERIA	40
TABELA 4 – UNIDADES VENDIDAS DE CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS	42
TABELA 5 - LEIS DE INCENTIVO.....	49
TABELA 6 - VENDAS DE VEÍCULOS LEVES ELETRIFICADOS	500
TABELA 7 - CRESCIMENTO DOS PONTOS DE RECARGA NO BRASIL.....	533
TABELA 8 - RANKING DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDA A (PBEV)	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PRIMEIRO VEÍCULO HÍBRIDO DA PORSCHE	13
FIGURA 2 - MOTOR À COMBUSTÃO	18
FIGURA 3 - FASES DO CICLO OTTO	20
FIGURA 4 - TIPOS DE MOTORES POR DISPOSIÇÃO	21
FIGURA 4 - TIPOS DE MOTORES POR DISPOSIÇÃO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 5 – PRINCIPAIS CATEGORIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS (VES)	24
FIGURA 6 - HÍBRIDO PLUG-IN (PHEV)	26
FIGURA 7 - VEÍCULO ELÉTRICO (BEV)	27
FIGURA 8 - KIA STONIC COM FUNÇÃO DE FRENAGEM REGENERATIVA (HEV)	27
FIGURA 9 - MOTOR ELÉTRICO ABERTO PARCIALMENTE	28
FIGURA 10 - MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA COM ESCOVAS	29
FIGURA 11 - MOTOR DE CORRENTE ALTERNADA (ASSÍNCRONO-AUDI Q6)	31
FIGURA 12 – EXEMPLOS DE VEÍCULOS QUE UTILIZAM MOTORES ASSÍNCRONOS	32
FIGURA 13 - FASES DO MOTOR SÍNCRONO	33
FIGURA 14 - EXEMPLOS DE VEÍCULOS QUE UTILIZAM MOTORES SÍNCRONOS	34
FIGURA 15 - COMPONENTES DE UM MOTOR A COMBUSTÃO	36
FIGURA 16 - ESTRUTURA CARRO ELÉTRICO	37
FIGURA 17 - BANCO DE BATERIA	39
FIGURA 18 - CUSTO DE ARMAZENAMENTO EM DÓLARES DO KWH DA BATERIA DE ÍON-LÍTIO	41
FIGURA 19 - REGISTRO DE CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS E PARTICIPAÇÕES NAS VENDAS	44
FIGURA 20 - PONTOS DE RECARGA NA AMÉRICA DO SUL	45
FIGURA 21 - PRIMEIRO ELETROPOSTO ULTRARRÁPIDO INAUGURADO PELA SHELL NO BRASIL	46
FIGURA 22 - ELETROPOSTO INAUGURADA NA CHINA PELA SHELL E BYD COM 258 CARREGADORES	47
FIGURA 23 - ELETROVIA PARANAENSE	52
FIGURA 24 - FLUXOGRAMA UTILIZADO NO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	57
FIGURA 25 - FAIXA ETÁRIA DOS ENTREVISTADOS	58
FIGURA 26 - GÊNERO DOS ENTREVISTADOS	59
FIGURA 27 - NÍVEL DE ESCOLARIDADE DOS ENTREVISTADOS	59
FIGURA 28 - SALÁRIO MÉDIO DOS ENTREVISTADOS	60
FIGURA 29 - TIPO DE VEÍCULO QUE OS ENTREVISTADOS POSSUEM	61
FIGURA 30 - OPINIÃO DOS ENTREVISTADOS SOBRE A INFRAESTRUTURA DE RECARGAS	61
FIGURA 31 - IMPORTÂNCIA DO VALOR PARA AQUISIÇÃO (1- IRRELEVANTE) - (5- IMPORTANTE)	62
FIGURA 32 - PERCEPÇÃO DOS ENTREVISTADOS A RESPEITO DA INFRAESTRUTURA DAS RODOVIAS	63
FIGURA 33 - VALOR INVESTIDO EM MANUTENÇÃO (1- BAIXO) – (5- ALTO)	63
FIGURA 34 - PERCEPÇÃO DOS ENTREVISTADOS DE ECONOMIA A LONGO PRAZO (1- POUCO ECONÔMICO) - (5- MUITO ECONÔMICO)	64

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
AMB	Anuário Mineral Brasileiro
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANL	Argonne National Laboratories
BEV	Battery Electric Vehicle
BLDC	Brushless Direct Current
BMS	Sistemas de Gerenciamento de Bateria
BYD	Build Your Dreams
CNBC	Consumer News and Business Channel
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EUA	Estados Unidos da América
EV	Electric Vehicle
EVSE	Equipamentos de Abastecimento de Veículos Elétricos
GM	General Motors
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação
IEA	International Energy Agency
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
IRA	Lei de Redução da Inflação
PHEV	Pug-in Híbrido Elétrico Vehicle
PIS/CONFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

LISTA DE SÍMBOLOS

€	Euro
HP	Horsepower
kg	Quilograma
km	Quilômetro
kVA	Quilovolt-ampere
kWh	Quilowatt-hora
l	Litro
mi	Milha
MJ	Megajoule
Nº	Número
R\$	Real
US\$	Dólar americano
W	Watt

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Justificativa.....	15
1.2.	Objetivo Geral	16
1.2.1.	Objetivos Específicos	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1.	Motores a combustão interna.....	18
2.1.1.	Princípio de funcionamento do motor ciclo Otto	19
2.1.2.	Classificação dos motores de ciclo Otto.....	20
2.2.	Veículos híbridos e elétricos	21
2.3.	Motores elétricos.....	28
2.3.1.	Motor elétrico de corrente contínua	29
2.3.2.	Motores de corrente alternada (assíncrono).....	30
2.3.3.	Motores de corrente alternada (síncrono)	32
2.3.4.	Relação peso potência, elétricos e a combustão	36
2.4.	Baterias para carros elétricos	38
2.5.	Cenário mundial dos carros elétricos	41
2.5.1.	Infraestrutura para pontos de carregamento	45
2.6.	Cenário Brasil	48
2.6.1.	Crescimento de vendas de carros elétricos e híbridos no Brasil	50
2.6.2.	Evolução da infraestrutura para veículos elétricos no Brasil	51
2.6.3.	Eficiência energética dos EVs vendidos no Brasil	53
3.	METODOLOGIA	55
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1.	Pesquisa de campo (quantitativa).....	58
4.2.	Pesquisa de campo (qualitativa).....	Erro! Indicador não definido.
5.	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS.....	70
	APÊNDICE A — Dados da pesquisa realizada.....	78

1. INTRODUÇÃO

A ascensão dos carros elétricos no Brasil reflete a crescente conscientização ambiental e a busca por opções de mobilidade mais econômicas e sustentáveis. É fundamental compreender que essa tendência contemporânea tem raízes profundas, no início do século XIX, quando os veículos elétricos surgiram como uma alternativa viável devido ao aumento dos preços da gasolina na década de 1970 e à necessidade de reduzir a dependência do petróleo estrangeiro (MCKINNON, 2019)

O marco inicial dessa jornada foi em 1886, com a criação do Benz Patent-Motorwagen por Karl Benz, o primeiro automóvel patenteado movido a gasolina. Em paralelo ocorria a verdadeira inovação elétrica que emergiu no final do século XIX, quando Ferdinand Porsche apresentou um veículo movido por um motor elétrico, atingindo 25 quilômetros por hora em 1898. A evolução dos carros elétricos continuou, com Porsche lançando, em 1900, um veículo híbrido, como pode ser observado na Figura 1, combinando um motor a combustão e um motor elétrico (BOTELHO, 2021).

Figura 1 - Primeiro veículo Híbrido da Porsche



Fonte: (FELDMAN, 2020)

No início do século XX, os carros elétricos ganharam popularidade, especialmente em cidades como Nova York, Londres e Berlim, sendo preferidos por serem silenciosos e ausência de emissões. No entanto, a introdução do arranque

automático, a produção em massa de carros a combustão (como o Ford T) e a descoberta de grandes reservas de petróleo relegaram os elétricos a um segundo plano após a Primeira Guerra Mundial. O interesse ressurgiu nas crises do petróleo dos anos 1970, mas foi apenas com o lançamento do EV-1 pela General Motors em 1996 e, posteriormente, do Tesla Roadster 2008, que os veículos elétricos modernos ganharam impulso, graças às baterias de íons de lítio, que oferecem maior autonomia e eficiência (IBERDROLA, 2025). Atualmente, os carros elétricos são vistos como uma solução sustentável para a mobilidade urbana, com avanços contínuos em tecnologia de baterias, expansão de infraestrutura de recarga e políticas de transição energética. Esses veículos representam uma transformação no setor automotivo, promovendo o desenvolvimento de novas configurações de propulsão e reconfigurando os padrões de transporte urbano e interurbano (BISHOP, 2021).

Nesse cenário os motores elétricos se destacam por apresentarem vantagens expressivas no que diz respeito à eficiência energética, operando com rendimentos que podem ultrapassar os 90%, além de serem silenciosos e demandarem menos manutenção, devido à menor quantidade de componentes móveis, se comparados com os motores de combustão interna. Entre os tipos mais comuns estão os motores de corrente contínua (DC), amplamente utilizados em aplicações de menor escala, os de corrente alternada (AC), que oferecem maior eficiência e versatilidade e os síncronos de ímã permanente, que se destacam pela alta densidade de potência e maior eficiência em condições específicas. Contudo, a dependência de baterias recarregáveis que geram um maior consumo de demanda energética elétrica, o custo elevado dessas tecnologias e os desafios relacionados à reciclagem e ao peso das baterias são pontos de evolução a serem tratados (BISHOP, 2021).

Em contrapartida, os veículos híbridos emergem como uma solução de transição no caminho para uma mobilidade mais sustentável, combinando as vantagens dos motores elétricos com a flexibilidade dos motores a combustão interna, o que gera uma menor dependência do sistema elétrico externo para carregamento. Essa tecnologia busca aliar eficiência energética à praticidade, reduzindo emissões de poluentes sem exigir mudanças radicais na infraestrutura de abastecimento existente. Por dependerem parcialmente de combustíveis fósseis, os híbridos enfrentam críticas em comparação aos veículos elétricos puros, considerados mais alinhados às metas de emissões zero, além de apresentarem custos mais elevados

de produção devido à complexidade do sistema. No entanto, sua maior autonomia e a ausência de dependência exclusiva de pontos de recarga tornam os híbridos uma alternativa atrativa, especialmente em regiões onde a infraestrutura para veículos totalmente elétricos ainda é limitada. Assim, os híbridos desempenham um papel estratégico como ponte para a popularização da eletrificação total no setor automotivo (LARMINIE E LOWRY, 2012).

A disseminação global de veículos elétricos enfrenta significativos desafios. No Brasil os principais entraves são o elevado custo das baterias e a necessidade de se estabelecer uma infraestrutura de recarga eficiente em suas malhas viárias, visto que se trata de um país com grande extensão territorial. Estes obstáculos emergem como pontos importantes que demandam atenção para viabilizar a ampla adoção dos carros elétricos (FERREIRA, 2024).

Além disso, o Brasil tem buscado diversificar suas fontes de geração de energia elétrica para enfrentar os desafios impostos pela redução dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas. Com a variabilidade das condições hidrológicas, é fundamental explorar alternativas energéticas que garantam a segurança do abastecimento. Nesse cenário, a adoção de veículos híbridos e elétricos representam um aumento na demanda por energia elétrica. É importante que essa expansão da eletrificação seja acompanhada por investimentos em fontes renováveis e em infraestruturas de geração de energia, como solar e eólica, garantindo que o crescimento do consumo não comprometa a estabilidade da fonte energética do país (SIMÃO, 2024).

Diante desse contexto, este trabalho teve por objetivo analisar o mercado brasileiro de veículos híbridos e elétricos, baseando em estudos técnicos, pesquisa de opinião e experiência de usuários, com a finalidade de identificar os principais desafios que podem impactar um potencial aumento na frota nacional desses automóveis. Tais desafios incluem questões relacionadas a infraestrutura, como disponibilidade, consumo (geração de energia), manutenção, depreciação, entre outros.

1.1. Justificativa

Nos últimos anos, a discussão sobre sustentabilidade e a redução das emissões de carbono têm ganhado cada vez mais espaço, especialmente no setor de

transporte. No Brasil, a eletrificação de veículos tem se tornado relevante em meio à crescente necessidade de modernização do setor de transportes e à redução da dependência de combustíveis fósseis. Embora o país seja um dos pioneiros na produção de etanol, um combustível renovável e menos poluente, os desafios relacionados à matriz energética no país são significativos. A eletrificação de veículos híbridos e elétricos surge como uma solução promissora, não apenas para diminuir as emissões de gases poluentes, mas também para melhorar a eficiência energética no setor de transportes. Essa transição pode contribuir para um futuro mais sustentável.

A introdução de veículos elétricos e híbridos em frotas comerciais tem evidenciado a complexidade dessa transição, que envolve fatores como disponibilidade de estações de recarga, rotinas operacionais ajustadas e atendimento às necessidades dos usuários. Nesse sentido, este trabalho busca não apenas explorar os desafios técnicos e logísticos, mas também contribuir para o debate sobre soluções que possam viabilizar a eletrificação do transporte no Brasil de maneira prática e sustentável, conciliando os avanços tecnológicos com a realidade do mercado local.

1.2. Objetivo Geral

Analisar a viabilidade da eletrificação dos veículos no Brasil, confrontando a teoria com a experiência de usuários e proprietários de modelos híbridos e elétricos, por meio de um estudo bibliográfico e análise de dados. Busca-se avaliar os impactos socioambientais, a viabilidade econômica, o desempenho e a fabricação desses veículos. O trabalho visa também identificar oportunidades que possam tornar a eletrificação uma alternativa prática e sustentável para o transporte no país, contribuindo para a transformação do setor automotivo.

1.2.1. Objetivos Específicos

- Realizar uma pesquisa de mercado a respeito do perfil socioeconômico dos usuários de carros elétricos;
- Analisar vantagens e desvantagens dos veículos elétricos, híbridos e a combustão;

- Analisar a estrutura regional, considerando a manutenção e pontos de recarga.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

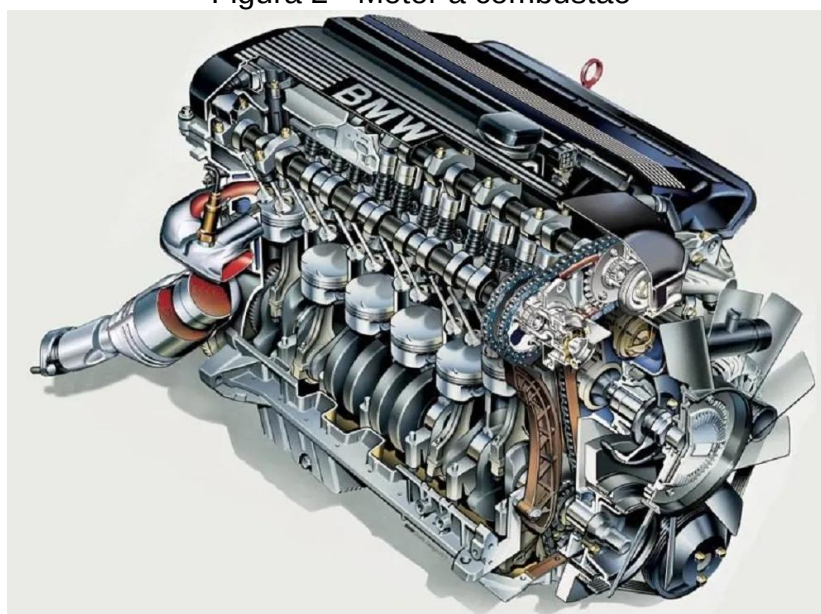
A revisão bibliográfica aborda a evolução dos sistemas de propulsão veicular, desde os motores de combustão interna do ciclo Otto até os avanços dos veículos híbridos e elétricos. Serão apresentados os princípios de funcionamento, classificações e impactos ambientais dos motores a combustão, além das tecnologias de eletrificação, destacando eficiência, componentes principais e categorias de veículos elétricos. O objetivo é analisar a transição da indústria automotiva para soluções mais sustentáveis, considerando desafios e benefícios dessa transformação

2.1. Motores a combustão interna

Os motores de ciclo Otto desempenham um papel fundamental na indústria automotiva, impulsionando veículos a combustão interna. Desenvolvido por Nikolaus Otto no século XIX, esse tipo de motor tornou-se a espinha dorsal da mobilidade moderna. Uma das suas formas de classificação é de acordo com sua construção e disposição dos cilindros (BRUNETTI, 2018).

Na Figura 2, está apresentado um motor que utiliza do ciclo Otto para seu funcionamento.

Figura 2 - Motor a combustão



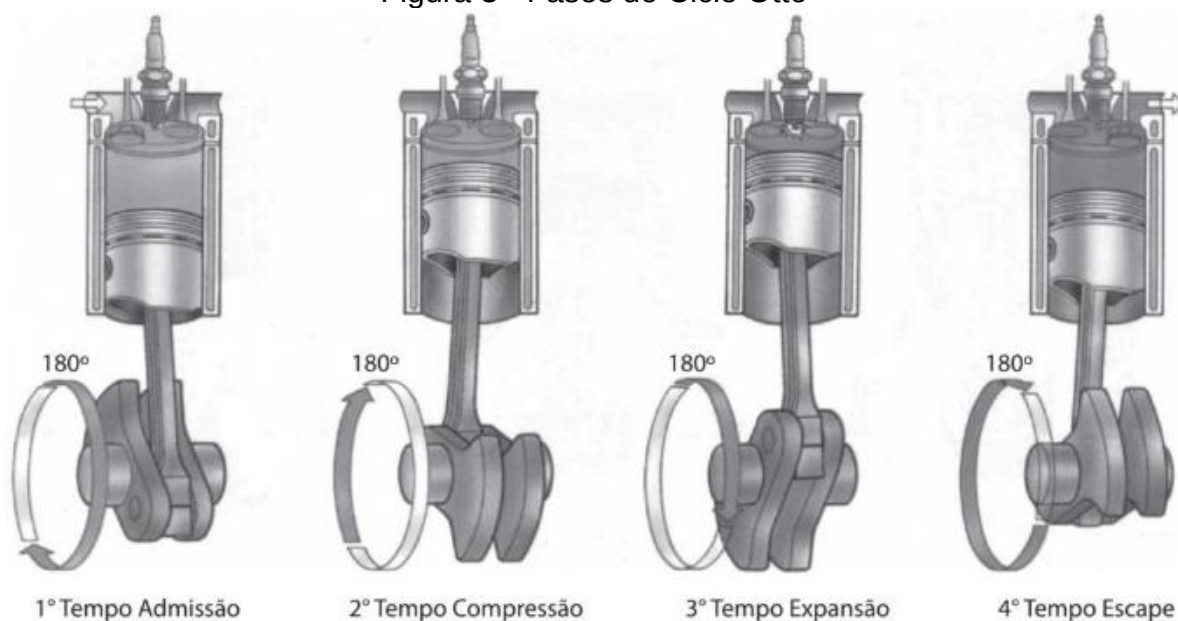
Fonte: ENERGIA INTELIGENTE, [s.d.]

2.1.1. Princípio de funcionamento do motor ciclo Otto

Segundo Brunetti (2018), o ciclo Otto é um ciclo termodinâmico que descreve o funcionamento de motores de combustão interna, dividido em quatro tempos ou fases, como pode ser observado na Figura 3, sendo admissão, compressão, combustão/expansão e escape. É o ciclo termodinâmico mais comum em motores para automóveis de passeio, funcionando nos chamados quatro tempos (BRAIN MARSHALL, 2018).

Na fase da admissão, a válvula de admissão se abre, permitindo a entrada da mistura de ar e combustível na câmara de combustão. O movimento do pistão para baixo cria um vácuo, que puxa a mistura para dentro do cilindro. A segunda fase é a compressão, em que a válvula de admissão se fecha e o pistão se move para cima, comprimindo a mistura de ar e combustível. Esse aumento de pressão e temperatura prepara a mistura para a ignição, tornando-a mais eficiente. Já a terceira fase se trata da combustão e expansão. Nessa fase, quando o pistão atinge o ponto mais alto (Ponto Morto Superior), a vela de ignição acende a mistura comprimida, causando uma explosão que empurra o pistão para baixo. Essa fase é crucial, pois transforma a energia química do combustível em energia mecânica. Por fim, a última fase é o escape. Nessa fase, enquanto o pistão retorna ao ponto morto superior e a válvula de escape se abre os gases resultantes da combustão são expelidos do cilindro, completando o ciclo e permitindo que o processo comece novamente. Essas quatro fases trabalham em sinergia para maximizar a eficiência do motor, permitindo a conversão da energia do combustível em trabalho mecânico (BRUNETTI, 2018).

Figura 3 - Fases do Ciclo Otto



Fonte: BRUNETTI (2012)

A eficiência do ciclo Otto, no entanto, está diretamente ligada à queima de combustível, o que implica na liberação de gases poluentes, como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio (NO_x), além de particulados. À medida que o motor é exigido para gerar mais potência, a quantidade de combustível queimado aumenta, intensificando a emissão desses gases e ampliando o impacto ambiental. Além disso, o ciclo gera ruídos decorrentes das explosões na câmara de combustão e do movimento mecânico dos componentes do motor (STEIN *et al.*, 2015).

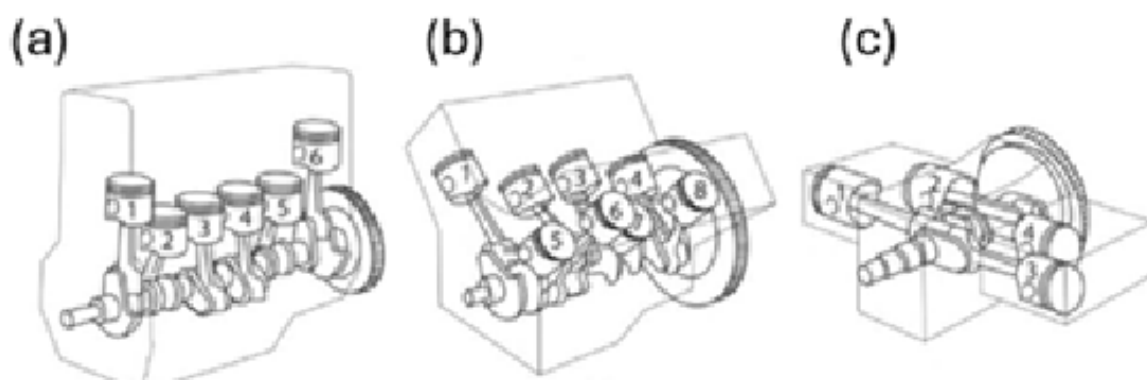
2.1.2. Classificação dos motores de ciclo Otto

Os motores de ciclo Otto podem ser classificados com base em suas configurações e disposições dos cilindros, incluindo categorias como motores monocilíndricos, de dois, três, quatro, seis, oito, dez e doze cilindros. Além disso, há variantes como motores em linha, em 'V', em 'W' e motores tipo boxer e outros. Essas classificações refletem as diferentes abordagens de projeto que impactam o desempenho, a eficiência e as características de emissão dos motores de combustão interna. Recentemente, inovações nos motores, conhecido como *downsizing*, têm levado ao desenvolvimento de motores com três cilindros, que oferecem uma

combinação de potência e economia de combustível, otimizando a relação peso potência dos veículos. Essa evolução no design dos motores visa atender à crescente demanda por veículos mais sustentáveis e com menor impacto ambiental (MASHADI E CROLLA, 2011).

A Figura 4 apresenta, de forma esquemática, três disposições típicas de motores, sendo em linha, em 'V' e do tipo *boxer*.

Figura 4 - Tipos de motores por disposição



Legenda: (A) Motor em Linha

(B) Motor em V

(C) Motor tipo boxer

Fonte: (BRUNETTI, 2012).

Além da configuração dos cilindros, os motores do ciclo Otto podem ser classificados quanto à relação entre diâmetro e curso do pistão, determinando o torque e a potência para determinadas rotações, quanto a potência específica, quanto a rotação, quanto a alimentação de ar, entre outros (BRUNETTI, 2012).

2.2. Veículos híbridos e elétricos

Os veículos elétricos (VEs) têm suas origens no século XIX, e desde seu conceito enfrentavam desafios tecnológicos relacionados ao armazenamento de energia e ao processo de recarga das baterias, o que favoreceu a ascensão dos veículos com motores de combustão interna (HAWKINS, 2017). Contudo, com a necessidade crescente de implementação de políticas voltadas para a sustentabilidade e a redução das emissões de gases poluentes como CO₂, HC, NO_x

e outros particulados, no caso dos motores diesel, surgiu um impulso para a busca de novas alternativas de transporte, um movimento que se intensificou a partir da elaboração do Energy Roadmap 2050, um documento estratégico apresentado pela Comissão Europeia em 2011 que delineava um conjunto de diretrizes para transformar o sistema energético da União Europeia (UE). Seu objetivo principal era alcançar uma economia de baixo carbono até 2050, com foco na redução drástica das emissões de gases de efeito estufa, garantindo simultaneamente a segurança energética e a competitividade econômica (SANTOS *et al.*, 2019).

Neste contexto a ideia de eletrificação voltou a ser considerada como opção. Novas pesquisas foram realizadas para a evolução de veículos que funcionam com eletricidade, gerando também debates sobre seu impacto ambiental. Ao final do século XX, essas inovações tecnológicas começaram a ganhar relevância considerando o progresso no setor automotivo. Os VEs operam com um ou mais motores elétricos que promovem a locomoção, utilizando eletricidade como fonte de energia, que pode ser obtida de diversas maneiras, como através da conexão com uma rede elétrica via cabos ou plugues, ou através de sistemas de indução eletromagnética (SCHIAVI, 2020).

Um veículo elétrico é constituído por três componentes principais: uma bateria, que armazena e fornece energia, o motor, que impulsiona as rodas e um sistema de controle que gerencia o fluxo de eletricidade. Esses veículos são vistos como uma alternativa promissora para o uso de fontes de energia renováveis, apresentando emissões de carbono zero durante a sua rodagem (HAWKINS, 2017).

Os VEs oferecem diversas vantagens em termos de tecnologia, eficiência, manutenção e redução de emissões durante a sua rodagem. Uma das características das baterias, hoje em dia, é o seu ciclo de vida longo, que, comparando com os veículos elétricos das gerações anteriores, permite suportar muitos ciclos de carga e descarga, resultando em menor necessidade de substituição e redução de custos a longo prazo, colaborando com a sustentabilidade. A eficiência média dos motores elétricos pode chegar a até 90%, enquanto os motores de combustão interna geralmente operam na faixa de 20% a 33% (LARMINIE E LOWRY, 2012).

De acordo com Souza e Hiroi (2021), é possível categorizar os VEs em quatro grupos: veículos elétricos puros (BEVs), híbridos que recarregam as baterias por meio das frenagens regenerativas (HEVs) e híbridos plug-in, que precisam de alimentação

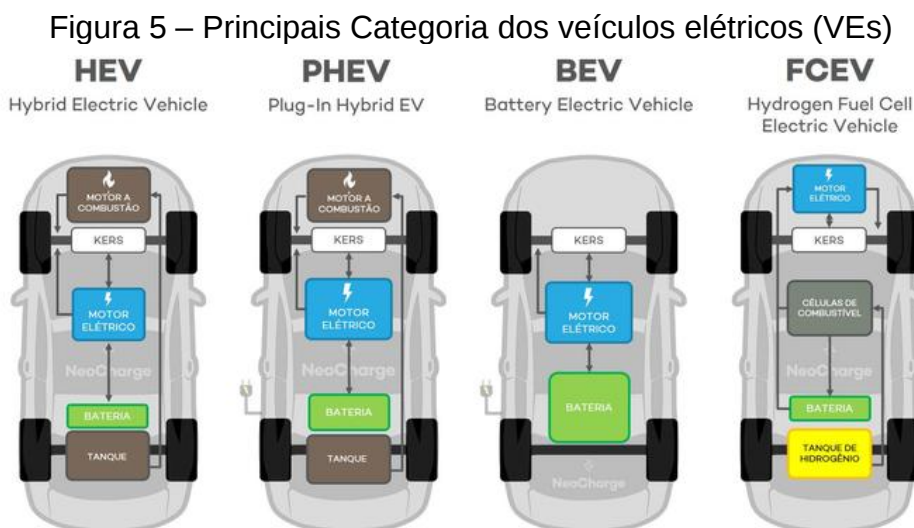
externa, porém também recarregam por meio da frenagem regenerativa (PHEVs) e híbridos de longo alcance (E-REVs) também classificados como híbridos pois utilizam o motor a combustão como gerador, para recarregar a bateria do sistema elétrico quando esta atinge níveis baixos. Também existem veículos que utilizam células de combustíveis a hidrogênio (FCEVs). A Tabela 1, elenca os diferentes tipos de VEs.

Tabela 1 - Tipos e características dos VEs

Tipos de Veículos	Motor	Combustível para tração	Armazenamento Elétrico	Autonomia elétrica média	Emissões (rodagem)
(P)HEV	Otto e elétrico;	Fóssil, biocombustível ou eletricidade.	Bateria recarregada por meio do motor à combustão interna ou por eletricidade externa (Plug-in).	120 km	0,062 kg CO ₂ /km
E-REV	Otto (utilizado apenas como gerador, para recarregar a bateria) e elétrico.	Eletricidade	Bateria recarregada apenas pelo motor de combustão, e costuma ter uma bateria com menor capacidade do que o BEV.	900 km	0,060 kg CO ₂ /km
BEV	Elétrico	Eletricidade	Bateria recarregada por fonte externa elétrica.	350 km	0 kg CO ₂ /km
FCEV	motor elétrico.	Hidrogênio e eletricidade	Célula de combustível de hidrogênio;	500 km.	0 kg CO ₂ /km

Fonte: Adaptado de Delgado *et al.*, 2021.

A seguir, na Figura 5, estão apresentados quatro tipos de VEs, com suas respectivas configurações. No HEV, o motor a combustão trabalha em conjunto com um motor elétrico e utiliza um sistema de recuperação de energia cinética (*KERS*), além de uma bateria e um tanque de combustível. No PHEV, há uma configuração similar ao HEV, mas com a possibilidade de recarregar a bateria por meio de uma fonte externa de energia. O BEV é totalmente elétrico, não possui motor a combustão, funcionando exclusivamente com energia armazenada em uma bateria recarregável, também utilizando o *KERS*. Por fim, o FCEV utiliza células de combustível a hidrogênio para gerar energia elétrica, armazenada em uma bateria, com um tanque específico para o hidrogênio e equipado com o *KERS*. Esses veículos representam diferentes abordagens para a eletrificação no setor automotivo.



Fonte: (NEOCHARGE, 2024).

Além das informações fornecidas na Tabela 1, é relevante considerar que a escolha entre esses veículos depende de fatores como infraestrutura de recarga disponível, custos operacionais e políticas públicas de incentivo. Por exemplo, os FCEVs enfrentam desafios relacionados à produção e armazenamento de hidrogênio, exigindo tecnologias específicas e infraestrutura avançada. Por outro lado, os BEVs têm impacto ambiental associado à produção de baterias de lítio e à dependência de redes elétricas, que nem sempre utilizam fontes renováveis. A evolução dessas tecnologias também está atrelada a avanços na eficiência das baterias, redução de

custos e ampliação da autonomia, determinando o sucesso de sua implementação em diferentes mercados (DELGADO *et al.*, 2021)

Em relação aos veículos híbridos, estes combinam um motor de combustão interna com um motor elétrico, o que resulta em uma maior autonomia e redução das emissões de poluentes, se comparado com os veículos movidos inteiramente por motores de combustão. É importante salientar que, dentre os veículos híbridos, existem os que utilizam o motor de combustão para tracionar o veículo, como é o caso dos PHEVs e existem os veículos que utilizam o motor a combustão para apenas recarregar as baterias, como é o caso dos EREVs. Em contraste, os veículos elétricos a bateria (BEV) dependem exclusivamente de um motor elétrico, utilizando energia armazenada em baterias (SILVA, 2024).

Os veículos híbridos plug-in (PHEV), por sua vez, podem operar a recarga de bateria de uma fonte de energia elétrica externa. Os motores a combustão e elétricos podem funcionar isoladamente ou em conjunto, e a gestão dessa combinação está intimamente ligada a fatores como velocidade, aceleração e inclinação do terreno (SANTOS *et al.*, 2024).

Os Veículos Elétricos Híbridos (HEVs) combinam dois sistemas de propulsão; um motor elétrico e um motor de combustão interna. Essa integração tem como objetivo otimizar a energia de movimentação do veículo, incorporando mecanismos de recuperação e reutilização de energia, especialmente durante o processo de frenagem regenerativa. Essa estratégia não apenas melhora a eficiência energética do veículo, mas também estende sua autonomia e alcance. Não existindo recargas externas (RADRIZZANI, 2022).

A Figura 6, retrata um veículo GWM Haval H6 que é um *Plug-In Hybrid Electric Vehicle* (PHEV), conectado a uma estação de recarga, evidenciando sua capacidade de recarregar a bateria elétrica por meio de uma fonte externa de energia. Esse tipo de veículo combina um motor elétrico e um motor a combustão interna, permitindo que opere tanto em modo totalmente elétrico quanto utilizando combustível fóssil ou biocombustível. Um teste realizado em pista controlada evidenciou um desempenho desse SUV de aproximadamente 28,7km/l, isso se dá pelo fato da combinação dos motores proporcionar maior economia (FONTANA, 2022). A bateria, que armazena a energia elétrica, é carregada externamente e oferece uma autonomia elétrica média antes que o motor a combustão precise ser ativado. Essa flexibilidade reduz emissões

durante o uso no modo elétrico e proporciona maior alcance em comparação com veículos exclusivamente elétricos. A infraestrutura de recarga, como a mostrada na Figura 6, é essencial para a popularização desse tipo de tecnologia.

Figura 6 - Híbrido Plug-in (PHEV)



Fonte: (FONTANA, 2022).

A Figura 7, apresenta o Tesla Model X, um veículo totalmente elétrico (BEV). O Model X é equipado exclusivamente com motores elétricos, alimentados por uma bateria de alta capacidade recarregada por fontes externas de eletricidade. Esse tipo de veículo não utiliza motores a combustão interna, o que significa que não emite gases poluentes durante a condução. Além disso, oferece uma autonomia significativa, variando conforme a configuração e a capacidade da bateria, frequentemente acima de 350 km por carga. O Tesla Model X é conhecido por seu desempenho avançado, tecnologia inovadora, como o piloto automático e design funcional, incluindo portas traseiras "*Falcon Wing*", que facilitam o acesso ao interior. Ele é uma referência no segmento de SUVs elétricos de luxo (SCHAUN, 2022).

Figura 7 - Veículo Elétrico (BEV)



Fonte: (MIAMI IMPORTS, 2024).

O Kia Stonic é um híbrido leve (MHEV) que prioriza o motor a combustão, é uma subcategoria do (HEV), utiliza um sistema eficiente que combina motor a combustão e tecnologia híbrida para maximizar o desempenho e a economia de combustível. O motor elétrico auxilia o motor a combustão em arrancadas, e situações de maiores consumo, contribuindo para reduzir emissões de CO₂ e otimizar o consumo. A frenagem regenerativa, ilustrada na Figura 8, desempenha um papel essencial ao converter a energia cinética gerada durante a desaceleração em eletricidade (KERS), armazenada em uma bateria de 48V para ser reutilizada durante a aceleração. Esse processo melhora a eficiência geral do veículo sem a necessidade de carregamento externo, destacando-se como uma solução intermediária entre os modelos puramente a combustão e os elétricos (AUTO PAPO, 2023).

Figura 8 - Kia Stonic com função de frenagem regenerativa (HEV)

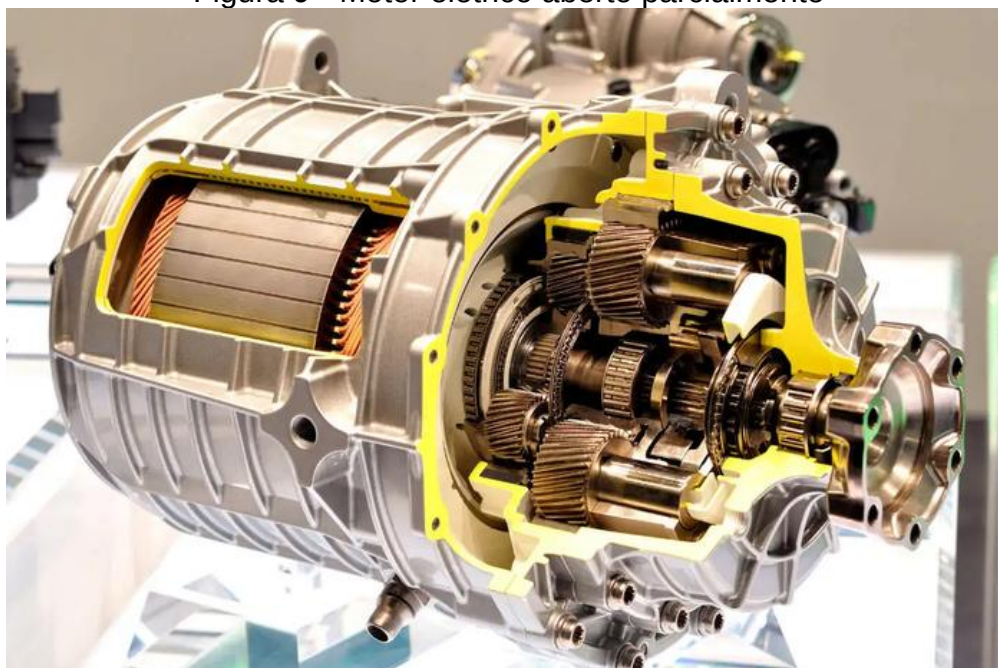


Fonte: (KIA, 2024).

2.3. Motores elétricos

Os motores elétricos possuem uma construção simplificada, com foco em componentes como rotores, estatores e sistemas de engrenagens compactos, como ilustrado na Figura 9. Essa característica dos motores elétricos não apenas reduz os custos de produção e manutenção, mas também aumenta a eficiência energética e diminui o impacto ambiental, se comparado com os motores de combustão interna.

Figura 9 - Motor elétrico aberto parcialmente



Fonte: (CARDOSO, 2023).

Os motores elétricos podem ser alimentados tanto por corrente contínua (CC) quanto por corrente alternada (CA), cada um com características específicas que os tornam adequados para diferentes aplicações. Os motores de corrente contínua possuem um controle simples e direto de velocidade e torque, o que os torna ideais para aplicações que demandam ajustes finos, como em sistemas de transporte e equipamentos industriais. Por outro lado, os motores de corrente alternada podem ser divididos em síncronos e assíncronos. Nos motores síncronos, a velocidade do rotor coincide com a frequência do campo magnético gerado no estator, enquanto nos motores assíncronos, o rotor gira a uma velocidade levemente inferior, devido à diferença conhecida como escorregamento (NEOCHARGER, 2024).

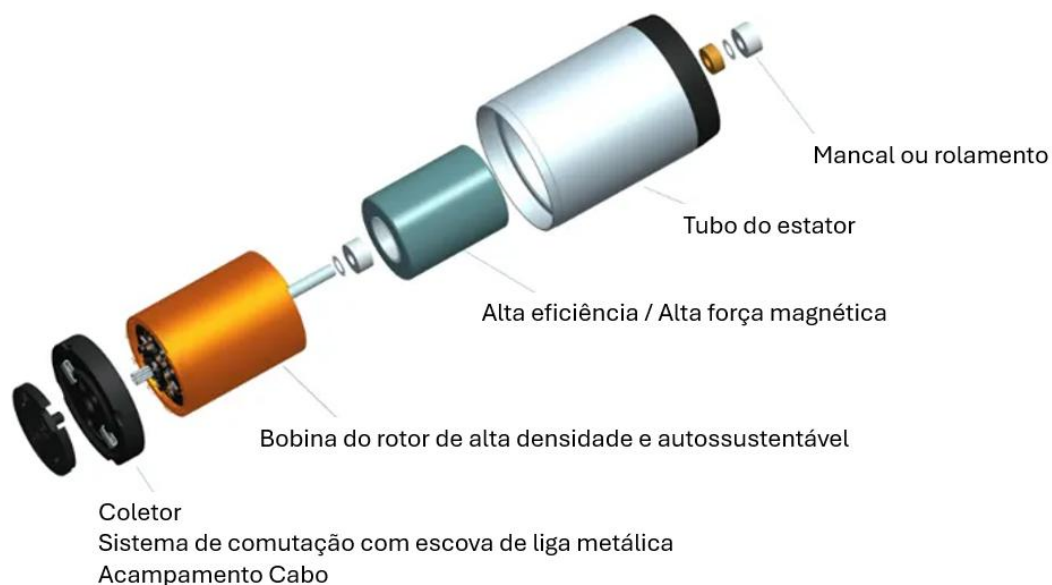
2.3.1. Motor elétrico de corrente contínua

Os motores de corrente contínua são amplamente utilizados em diversas aplicações industriais e comerciais, incluindo veículos elétricos, devido à sua capacidade de controle preciso de velocidade e torque. A transferência de energia entre o rotor e o estator denominada comutação, pode ocorrer de duas formas: com escovas ou sem escovas (NAKASHIMA, 2021).

Nos motores escovados, as escovas de carbono e o comutador realizam a inversão da corrente nos enrolamentos do rotor, o que permite sua rotação contínua. No entanto, o uso de escovas resulta em desgaste e perda de eficiência devido ao atrito (NAKASHIMA, 2021).

O motor elétrico ilustrado na Figura 10 apresenta componentes importantes para seu funcionamento. O tubo do estator fornece a estrutura principal e abriga o conjunto magnético, enquanto o mancal ou rolamento suporta o eixo rotativo, reduzindo o atrito. A bobina do rotor de alta densidade conduz a geração do campo magnético necessário para o movimento rotacional. Já o sistema de comutação com escova de liga metálica, incluindo o coletor, possibilita a troca de corrente e assegura a continuidade do funcionamento.

Figura 10 - Motor de corrente contínua com escovas



Fonte: (PORTESCAP, 2021).

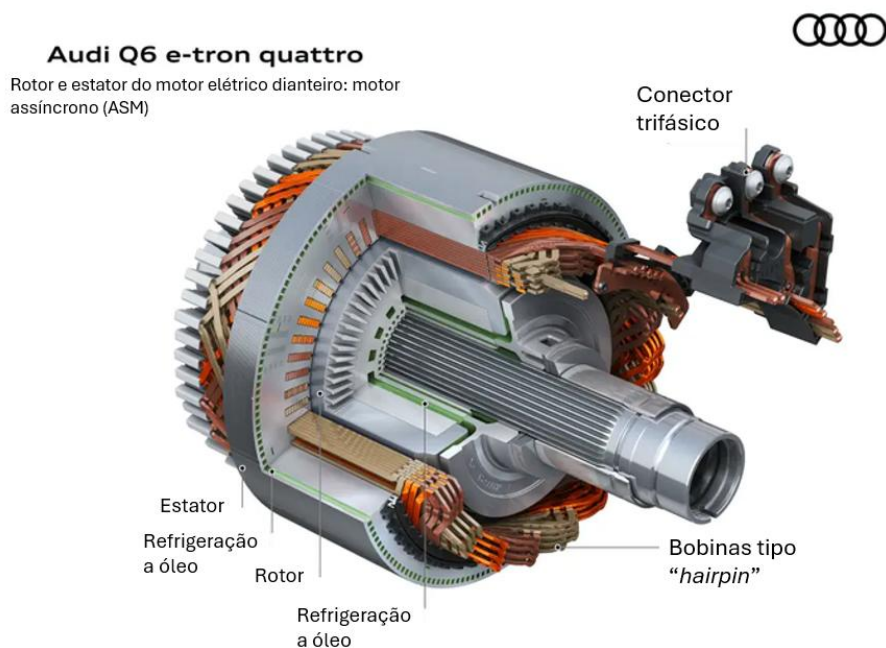
Para os motores sem escovas (BLDC), é utilizado um sistema de controle eletrônico para realizar a comutação de forma mais eficiente, sendo dispensados as escovas e o comutador. Este sistema utiliza sensores de posição e circuitos eletrônicos para alternar a corrente nos enrolamentos do estator, resultando em menor manutenção, maior eficiência e durabilidade (NAKASHIMA, 2021).

2.3.2. Motores de corrente alternada (assíncrono)

Dentre os motores de corrente alternada, se destacam os motores por indução, reconhecidos como uma escolha comum e vantajosa em termos de custo-benefício no mercado atual. Diferentemente dos motores de corrente contínua, eles dispensam o uso de ímãs permanentes, pois o campo magnético é gerado pela corrente elétrica fluindo através das bobinas fixadas no estator, sendo que, ao aplicar uma corrente alternada ao estator, o campo magnético resultante também será alternado (GREENBRAS, 2022).

A Figura 11 apresenta o motor de corrente alternada assíncrono utilizado no Audi Q6, ilustrando os componentes principais, como o estator e o rotor, elementos fundamentais para o funcionamento do motor. A imagem destaca o conector trifásico, as bobinas de cobre tipo "*hairpin*" e o sistema de refrigeração a óleo, que desempenham papel essencial na eficiência energética e no desempenho térmico do motor. Este tipo de motor, amplamente utilizado em veículos elétricos, é conhecido por sua robustez e custo relativamente baixo em comparação com outras tecnologias.

Figura 11 - Motor de corrente alternada (Assíncrono-Audi Q6)



Fonte: (RODRIGUEZ, 2024).

O sistema de controle dos motores de indução é simplificado, o que colabora com a redução das manutenções. Embora sejam mais caros do que os motores de corrente contínua, eles são amplamente utilizados por muitos fabricantes, especialmente na indústria de veículos elétricos de alto desempenho. Modelos como o Tesla Model S, Model X, Toyota RAV4 e Mahindra Reva E2O, apresentados na Figura 12, utilizam esses motores devido à sua eficiência e durabilidade (ACHDAD, 2024).

Figura 12 – Exemplos de veículos que utilizam motores assíncronos
 Tesla Model S Tesla Model X



Mahindra Reva E2O



Toyota RAV4



Fonte: (MORRIS, 2015; MIAMI IMPORTS, 2024; FURLAN, 2015; TOYOTA, 2024).

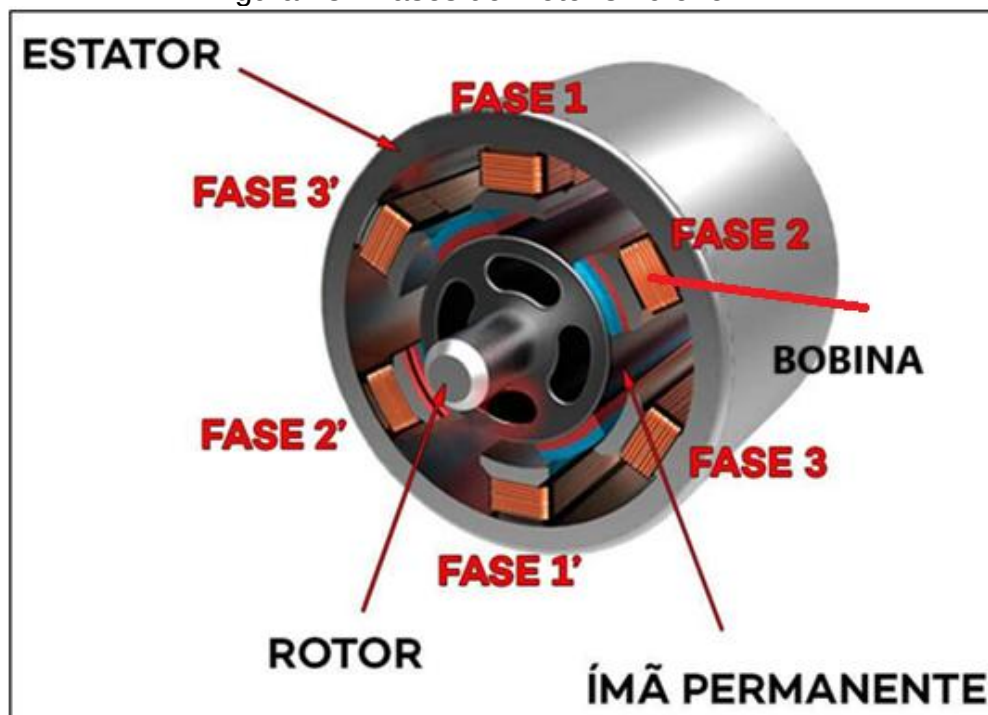
2.3.3. Motores de corrente alternada (síncrono)

Os motores de ímã permanente, também conhecidos como motores síncronos, possui como característica o giro do rotor sincronizado com a velocidade do campo magnético gerado pelo estator. Essa é a principal diferença em relação aos motores de indução, que operam com uma velocidade do rotor inferior à velocidade do campo magnético do estator. Uma das principais vantagens dos motores de ímã permanente é a eliminação da necessidade de induzir um campo magnético no rotor, o que resulta em menor perda de energia e menor aquecimento em comparação com os motores de indução. Isso contribui para aumento da eficiência, além de permitir que o motor seja mais compacto e mais leve (CRECELIUS, 2019).

A Figura 13 ilustra as fases de funcionamento de um motor síncrono, destacando a interação entre o estator, o rotor e os ímãs permanentes. O estator é composto por bobinas distribuídas em três fases (Fase 1, Fase 2 e Fase 3), com suas respectivas polaridades complementares (Fase 1', Fase 2' e Fase 3'). Essas fases

criam um campo magnético rotativo que, ao interagir com os ímãs permanentes do rotor, gera torque e movimento síncrono (NEOCHARGER, 2024).

Figura 13 - Fases do motor síncrono



Fonte: (NEOCHARGER, 2024).

Os motores síncronos, oferecem também um alto torque em baixas velocidades, o que os tornam ideais para aplicações que exigem controle preciso de velocidade e estabilidade constante, como em robôs, instrumentação e máquinas de controle de processos. Esses motores destacam-se por seu tamanho compacto e praticidade, sendo amplamente utilizados em veículos elétricos modernos, como o Toyota Prius, Nissan Leaf e Kia Soul EV, Figura 14. Esses motores são projetados para serem pequenos e leves, facilitando sua integração em veículos sem comprometer o espaço ou aumentar significativamente o peso total. Essa configuração compacta e eficiente faz com que esses motores sejam uma escolha prática para atender às demandas de veículos elétricos urbanos e de passeio (CARDOSO, 2023).

Figura 14 - Exemplos de veículos que utilizam motores síncronos



Fonte: (RODRIGUEZ, 2024; NISSAN, 2024, 3DMODELS, 2024).

Os motores elétricos de corrente contínua, síncronos e assíncronos possuem características específicas que determinam suas aplicações e vantagens. A Tabela 2, a seguir compara de forma simplificada seus principais atributos, proporcionando uma visão geral para facilitar a escolha em diferentes contextos industriais e comerciais.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do motor síncrono

Características	Motor de Corrente Contínua (CC)	Motor Síncrono (AC)	Motor Assíncrono (Indução, AC)
Funcionamento	Usa escovas e comutadores.	Rotor sincroniza com o campo magnético.	Rotor gira mais lento que o campo magnético.
Controle de Velocidade	Simples e preciso.	Velocidade fixa.	Depende da carga. Inversores opcionais.
Eficiência	Moderada. Perdas em escovas.	Alta, ideal para cargas constantes.	Média. Perdas no escorregamento.
Manutenção	Alta, escovas e comutadores desgastam.	Baixa, poucas peças móveis.	Baixa, construção robusta.
Aplicações	Máquinas de vidro, limpadores e outros.	Geradores, equipamentos de precisão e veículos elétricos.	Máquinas industriais e comerciais e veículos elétricos.
Vantagens	Controle fino e torque elevado.	Velocidade constante e eficiência.	Robusto, simples e custo menor.
Desvantagens	Manutenção constante e menor eficiência.	Arranque complexo e custo elevado.	Controle menos preciso; maior escorregamento.

Fonte: Adaptado de Neocharger, 2024.

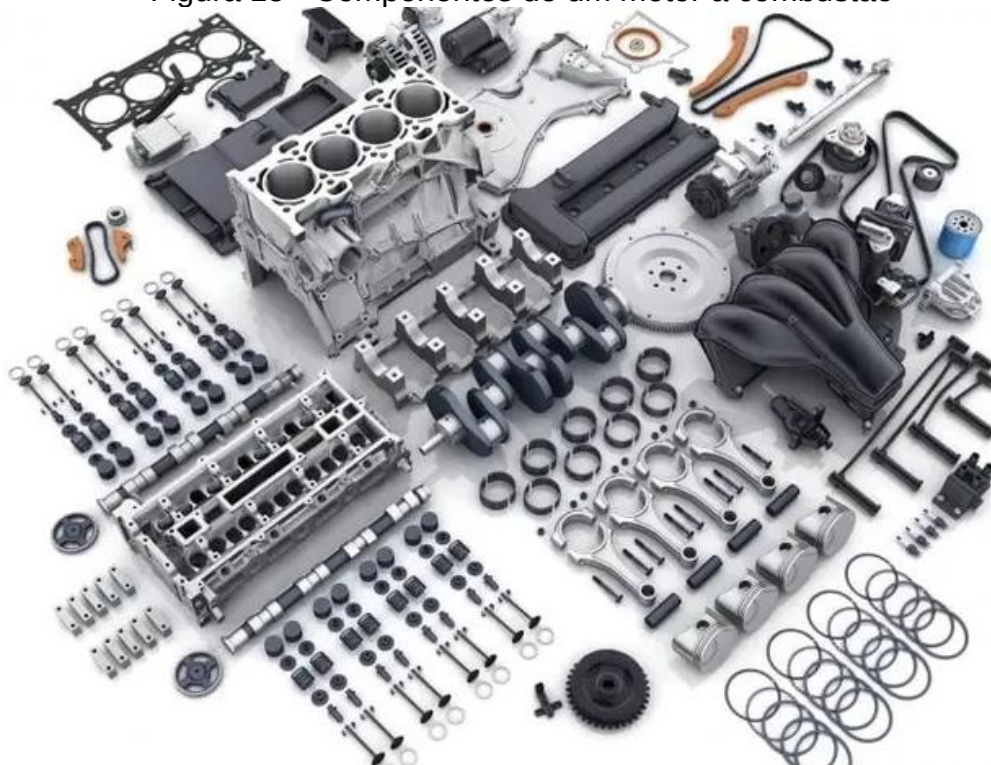
Analisando a Tabela 2, pode ser observado que, os motores de corrente contínua com escovas, e motores síncronos apresentam características únicas que influenciam sua escolha em diferentes aplicações. Os motores de corrente contínua destacam-se pela simplicidade de construção e controle, mas demandam maior manutenção devido ao desgaste das escovas e enfrentam desafios como aquecimento e ruído. Já os motores de corrente alternada são conhecidos por sua robustez, menor necessidade de manutenção e operação simplificada, embora sejam menos compactos e possuam maior peso, o que pode limitar sua utilização em projetos restritos. Por sua vez, os motores síncronos oferecem alta eficiência energética e excelente desempenho em baixas velocidades, fatores cruciais para aplicações modernas como veículos elétricos. No entanto, enfrentam custos elevados

associados aos ímãs permanentes e possuem desafios operacionais, como a necessidade de mecanismos de partida específicos, o que demanda atenção cuidadosa ao selecionar essa tecnologia.

2.3.4. Relação peso potência, elétricos e a combustão

O *powertrain* dos veículos elétricos apresenta uma arquitetura significativamente mais simples em comparação aos veículos com motores a combustão interna. Enquanto os VEs utilizam componentes como motor elétrico, inversores de frequência, baterias de alta capacidade, controlador eletrônico e sistemas de frenagem regenerativa, os veículos a combustão requerem uma série de peças complexas e numerosas, como ilustrado na Figura 15 (BREETZ *et al.*, 2018). Esses motores podem conter mais de mil peças, incluindo pistões, bielas, virabrequins, cabeçotes, válvulas e sistemas de escapamento, além de uma caixa de câmbio e um sistema de transmissão (LARMINIE E LOWRY, 2012).

Figura 15 - Componentes de um motor a combustão



Fonte: (CARDOSO, 2023).

No entanto, os carros elétricos geralmente são mais pesados que os veículos a combustão, principalmente devido ao peso das baterias. As baterias de íons de lítio, as mais utilizadas em veículos elétricos, representam, aproximadamente, em torno de 20% a 30% do peso do veículo (NYKVIST *et al.*, 2019). Como exemplo, um modelo como o Byd Dolphin mini, que possui uma bateria de 38kWh pode pesar entre 1200 a 1400kg, enquanto um Fiat Argo carro de combustão interna de tamanho semelhante pesa em média entre 1.080 kg (AHMADZADEH, 2024).

Por outro lado, o motor elétrico, é mais compacto e simples que um motor a combustão, acaba sendo mais leve, o que ajuda a equilibrar parcialmente o peso total do veículo. Além disso, a distribuição do peso nos carros elétricos tende a ser mais vantajosa, visto que, como as baterias são geralmente posicionadas abaixo do assoalho, considerando os veículos mais modernos, como pode ser observado na Figura 16, isso contribui para um centro de gravidade mais baixo, o que melhora a estabilidade e a dirigibilidade, mesmo com o peso extra (LARMINIE E LOWRY, 2012)

Figura 16 - Estrutura carro elétrico



Fonte: (DIAS, 2022).

Os veículos elétricos, comparados aos que utilizam motores de combustão interna, apresentam vantagens em termos de eficiência energética. O motor elétrico é mais eficiente na conversão de energia elétrica em energia mecânica ou cinética, visto que a perda por calor é inferior aos motores do ciclo Otto, que sofre com perdas significativas de energia pelos gases queimados do sistema de escapamento, entre outras. Essa superioridade na eficiência permite que mesmo com o peso adicional das

baterias, os carros elétricos possam proporcionar uma performance muito competitiva em termos de aceleração e alcance. (SIERZCHULA *et al.*, 2014). Ainda, comparando os dois sistemas, é importante destacar que nos veículos elétricos, assim como nos de combustão interna, a alimentação de componentes como infotainment, luzes e sensores é feita por uma bateria auxiliar de 12V, independente da bateria do powertrain. (SIERZCHULA *et al.*, 2014).

Por sua vez, os veículos a combustão não possuem as baterias pesadas, mas exigem componentes adicionais como o sistema de transmissão mais complexo, o tanque de combustível e o motor a combustão em si. Esses sistemas, além de aumentarem o peso do veículo, tornam seu design mais complexo e sujeito a maior manutenção ao longo do tempo. Embora o peso desses componentes não seja tão expressivo quanto o das baterias, a complexidade mecânica dos motores a combustão pode resultar em maiores probabilidades de manutenção e custos operacionais mais altos (LARMINIE E LOWRY, 2012).

Portanto, embora os carros elétricos tendam a ser mais pesados devido às baterias, essa característica não compromete seu desempenho. Pelo contrário, a maior eficiência do motor elétrico, juntamente com a distribuição inteligente do peso, pode resultar em uma experiência de condução mais eficiente e agradável. Em muitos casos, a diferença de peso é compensada pelos benefícios em termos de desempenho e sustentabilidade dos veículos elétricos, especialmente quando consideramos a menor emissão de carbono e menor necessidade de manutenção (SIERZCHULA *et al.*, 2014).

2.4. Baterias de Lítio para carros elétricos

As baterias são a fonte de energia dos motores elétricos e são responsáveis por armazenar a energia necessária para movimentar o veículo. Ao serem carregadas, a energia é armazenada e os íons de lítio se movem do cátodo para o ânodo da bateria. Quando o carro é ligado, a energia é liberada do ânodo para alimentar o motor e acionar as rodas, possibilitando que o veículo se movimente sem o uso de combustíveis fósseis (MORAES, 2023)

O crescimento do mercado de veículos elétricos, tornou o lítio o metal mais utilizado em novas aplicações de energia, especialmente nas baterias de veículos

elétricos, que desempenham um papel importante na mobilidade sustentável. No entanto, embora os veículos elétricos sejam vistos como um meio de mobilidade sustentável, a mineração e extração do Lítio para produção das baterias geram impactos ambientais significativos, como a poluição e degradação ambiental (KEHENG,2022).

O banco de baterias, Figura 17, é um componente essencial para veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia, sendo composto por células individuais que formam módulos, os quais são integrados em um invólucro mecânico robusto. Elementos como o barramento e o sistema de gerenciamento de bateria (BMS) garantem a distribuição eficiente da energia e a segurança operacional (NEOCHARGE, 2024).

Figura 17 - Banco de bateria



Fonte: (NEOCHARGE, 2024).

O tipo mais comum de bateria utilizada é a de íon-lítio, devido à sua alta eficiência, longa vida útil e boa performance em altas temperaturas. Esse tipo de bateria tem uma capacidade de carga rápida e não sofre o efeito de memória, ou seja, pode ser recarregada parcialmente sem comprometer seu desempenho. Embora seja o tipo mais seguro de bateria disponível, a indústria automotiva investe constantemente no desenvolvimento de BMS, que monitoram parâmetros como temperatura, carga e corrente, garantindo a segurança do veículo (MORAES, 2023).

A Tabela 3, compara os quatro tipos de baterias mais comuns. É interessante observar os números de ciclos de recarga das baterias de íon lítio e dos supercapacitores, além das eficiências de carga e descarga que giram em torno de 98 a 99%, respectivamente. Outro destaque para esses dois tipos de baterias está na manutenção, ao qual não se faz necessária, diferentemente das baterias de Níquel hidreto metálico e de chumbo ácido.

Tabela 3 – Baterias e supercapacitor

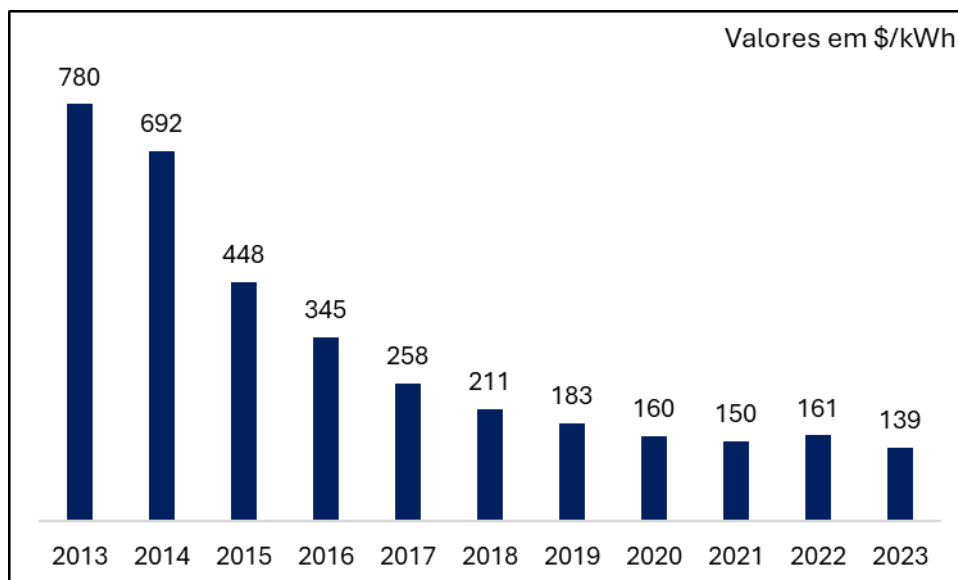
Características	Íon de Lítio	Níquel Hidreto Metálico	Chumbo-ácido	Supercapacitor
Densidade energética (Wh / kg)	100 - 300	40 - 120	30 - 40	01 A10
Densidade de potência (W / kg)	1.000 - 5.000	300 - 1.000	180	1.000 - 10.000
Ciclo de vida (Recarga)	500 - 15.000	500 - 1.000	500 - 800	Ilimitado
Eficiência de carga e descarga	95 - 99%	65 - 80%	70 - 92%	98%
Taxa de descarga própria	1 - 5% / mês	~30% / mês	3 - 20% / mês	-
Tolerância a sobrecarga	Baixa	Baixa	Alta	-
Manutenção	Sem necessidade	60 - 90 dias	3 - 6 meses	Sem necessidade
Tempo de carga rápida (aproximadamente)	1 hora ou menos (80% de carga)	2 - 4 horas (60 – 80% de carga)	4 - 8 horas (70% de carga)	Segundos (Acima de 95%)

Fonte: Adaptado de Neocharge, 2024.

A escolha do tipo de bateria impacta diretamente o preço e a autonomia dos carros elétricos. As baterias de íon-lítio possuem maior custo, mas oferecem maior densidade energética e mais durabilidade, além do que seu custo por quilowatt-hora

(kWh) está em queda nos últimos anos, como pode ser observado na Figura 18. (NEOCHARGE, 2024).

Figura 18 - Custo de armazenamento em dólares do kWh da bateria de íon-lítio



Fonte: (BLOOMBERGNEF, 2024).

A vida útil das baterias de carros elétricos é de aproximadamente 12 a 20 anos, dependendo do clima e do uso. Após esse período, as baterias podem ser reutilizadas em sistemas de armazenamento de energia, como no caso de sistemas fotovoltaicos ou em residências. A reciclagem dessas baterias é fundamental para minimizar impactos ambientais e garantir a sustentabilidade a longo prazo. Por fim, a segurança é uma prioridade na fabricação dessas baterias. As tecnologias desenvolvidas para prevenir falhas e garantir a proteção do usuário incluem sistemas de refrigeração e monitoramento inteligente da bateria, que tornam os veículos elétricos tão seguros quanto os carros convencionais (MORAES, 2023).

2.5. Cenário mundial dos carros elétricos

O mercado global de carros elétricos vive um período de crescimento acelerado, refletindo uma transformação no setor automobilístico em resposta à crescente demanda por soluções mais sustentáveis e ecológicas. Segundo a Agência Internacional de Energia, IEA (2023), as vendas de veículos elétricos em 2023

alcançaram 14 milhões de unidades, representando um aumento de 35% em relação ao ano anterior. Esse crescimento pode ser atribuído a diversos fatores, como políticas governamentais de incentivo, a ampliação da infraestrutura de recarga e a evolução das tecnologias que tornaram os veículos elétricos mais acessíveis e eficientes.

A Tabela 4, apresentada a seguir, retrata o número de carros elétricos e híbridos vendidos desde 2014 até 2023, em unidades de milhões, na China, Europa, Estados Unidos e no restante do mundo.

Tabela 4 – Unidades vendidas de carros elétricos e híbridos

Ano	China	Europa	Estados Unidos	Restante do Mundo
2014	0.1	0.2	0.3	0.1
2015	0.3	0.4	0.4	0.2
2016	0.7	0.6	0.6	0.2
2017	1.2	0.8	0.8	0.3
2018	2.2	1.2	1.1	0.4
2019	3.4	1.8	1.5	0.6
2020	4.5	3.1	1.7	0.8
2021	7.8	5.4	2.2	1.1
2022	13.8	7.8	3.0	1.7
2023	21.9	11.2	4.8	2.6
*Dados de vendas acumuladas dos carros elétricos dispostos em unidade de milhões.				

Fonte: Adaptado de (IEA, 2024).

A China continua a ser o principal motor desse crescimento, com um acumulado de 21,9 milhões de unidades vendidas em 2023, representando cerca de 60% das vendas globais de carros elétricos e um crescimento de 8,1 milhões em unidades vendidas comparados a 2022 (IEA, 2024). Mesmo após a redução gradual dos subsídios para a compra de carros elétricos, a China manteve sua posição de liderança, o que reflete a competitividade do mercado interno, com montadoras locais oferecendo modelos de excelente relação custo-benefício. A China também se tornou

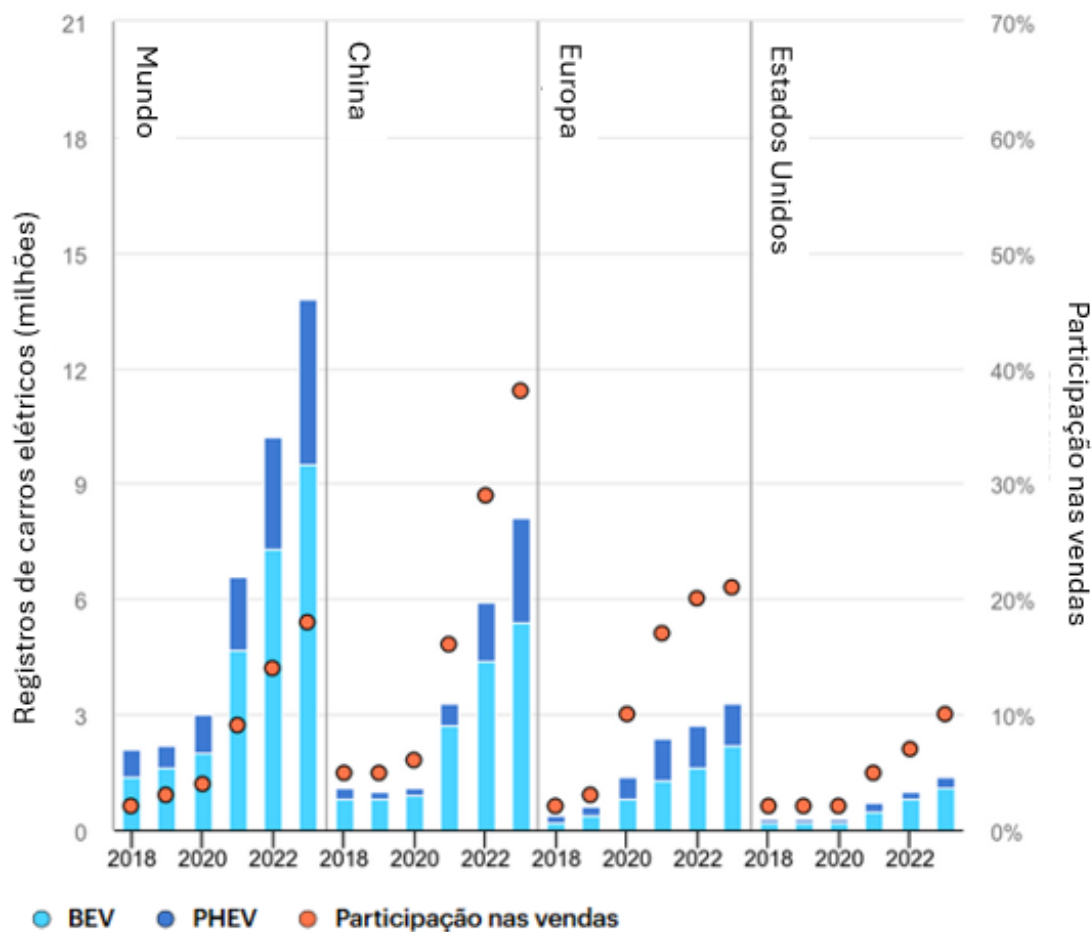
a maior exportadora mundial de carros elétricos, com mais de 1,2 milhão de unidades exportadas ao longo de 2023 (EVBOOSTERS, 2024).

A Europa, por sua vez, apresentou um crescimento de 64% no mercado de veículos híbridos e elétricos, totalizando um acumulado de 11,2 milhões de unidades vendidas em 2023. Países como Noruega, Alemanha, França e Reino Unido estão entre os maiores contribuintes desse crescimento. Na Noruega, cerca de 85% dos carros vendidos em 2023 foram elétricos, devido à forte política de incentivos fiscais e uma infraestrutura robusta de recarga. No entanto, a Alemanha experimentou um crescimento mais modesto, com uma redução no número de carros híbridos e elétricos vendidos, consequência do fim dos incentivos fiscais que anteriormente impulsionaram as vendas (MURRAY, 2025). Ainda em relação a Europa, em 2023 foram registrados 12,8 milhões de veículos vendidos, EV e MCI. Dentre esses marco os veículos do tipo híbrido *plug-in* fecharam o ano de 2023 em baixa de 2,4% se comparado com o volume de vendas de 2022, enquanto a venda de híbridos leves representou um crescimento de 28%. Os licenciamentos de carros a diesel recuaram 6,4% e as vendas de veículos elétricos (BEV) conseguiram alcançar uma participação de aproximadamente 15,7% do volume total (AUTOINDUSTRIA, 2024).

Nos Estados Unidos, a evolução nas vendas de carros elétricos foi 40% no ano de 2023 comparado a 2022, somando 1,4 milhão de unidades. A Tesla, Ford e General Motors são algumas das montadoras que se destacam na produção de veículos elétricos mais acessíveis e com maior desempenho, atendendo à demanda crescente de consumidores americanos (IEA, 2024b).

A Figura 19, apresentada a seguir, retrata a participação nas vendas além do número de carros elétricos e híbridos registrados de 2018 a 2023 na China, Estados Unidos, Europa e no restante do mundo.

Figura 19 - Registro de carros elétricos e híbridos e participações nas vendas



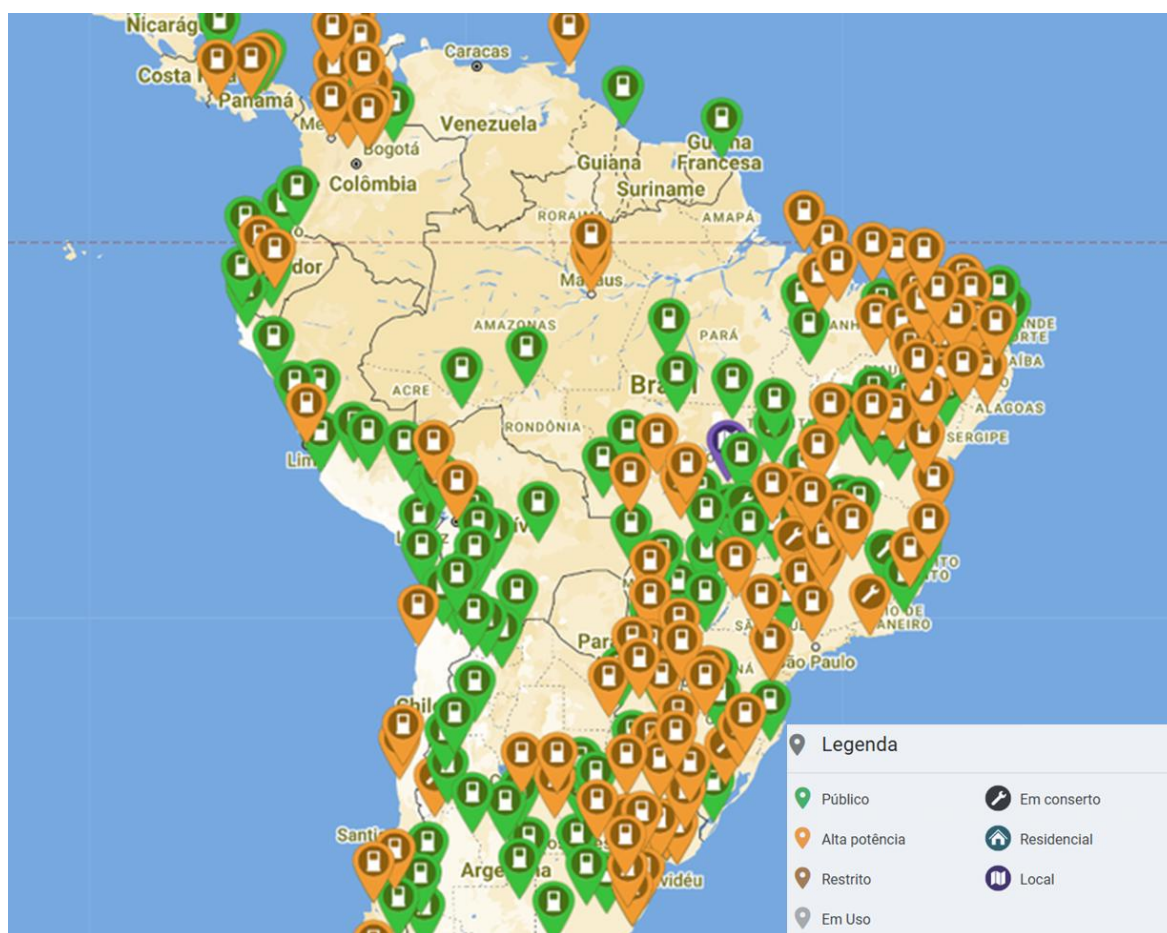
Fonte: (IEA, 2024b).

Os mercados emergentes, como Brasil, Índia, Sudeste Asiático e América Latina, estão apresentando um cenário favorável para a expansão dos veículos eletrificados (BEV) e híbrido plug-in (PHEV). Projeções indicam que as vendas combinadas nesses países superarão 1 milhão de unidades em 2024, um crescimento significativo em relação a 2023. Esse avanço é resultado de dois fatores principais: a crescente presença de montadoras chinesas nesses mercados e a implementação de políticas governamentais que incentivam a adoção de tecnologias sustentáveis. De acordo com Júlio Cesar (2024), a sinergia entre investimentos internacionais e medidas locais tem sido decisiva para impulsionar a transição rumo à mobilidade elétrica nesses países.

2.5.1. Infraestrutura para pontos de carregamento

As estações de recarga, frequentemente indicadas como eletro postos, pontos de recarga ou equipamentos de abastecimento de veículos elétricos (EVSE), são estruturas essenciais para abastecer as baterias dos VEs com eletricidade proveniente de fontes energéticas. As estações de carregamento estão presentes tanto em localizações públicas quanto privadas, facilitando o acesso dos usuários à energia elétrica necessária (ANJOS, 2022). A Figura 20, representa os principais eletropostos registrados na América Do Sul. Pode ser observado o grande volume de eletropostos públicos, assim como as estações de alta potência.

Figura 20 - Pontos de recarga na América Do Sul



Fonte: Adaptado Plugshare, 2024.

Essas estações são equipadas com conectores, cabos, acessórios e outros dispositivos associados que se conectam à entrada dos VEs, garantindo a transferência de eletricidade necessária para o carregamento das baterias (ANJOS, 2022). A maneira como os VEs são carregados pode variar de uma estação para outra, com base na quantidade máxima de eletricidade disponibilizada, que influencia diretamente a rapidez do processo de recarga (CAMPOS *et al.*, 2023). Ainda em relação à velocidade de carregamento, a capacidade, o tipo e o uso das baterias também possuem forte impacto, que pode variar de 30 minutos a 20 horas, dependendo das condições e do tipo de estação utilizada (SILVA, 2024). Todavia, alguns meios para solucionar esse problema estão sendo implementados, como pode ser observado na Figura 21, que representa o primeiro eletroposto ultrarrápido inaugurado pela Shell no Brasil, no estado de São Paulo, com o intuito de fornecer ao cliente um abastecimento prático e dinâmico (ALENCAR, 2022).

Figura 21 - Primeiro eletroposto ultrarrápido inaugurado pela Shell no Brasil



Fonte: (ALENCAR, 2022).

A quantidade de carregadores em uma mesma estação não apresenta empecilho para a recarga rápida, como pode ser observado na Figura 22, em que a Shell, em parceria com a BYD, inaugurou na China uma estação de carregamento com 258 carregadores, localizado em um ponto estratégico, ao lado do aeroporto de Shenzhen. O local funciona com auxílio de painéis solares e possui capacidade de gerar 300 mil kWh (PEDROSO, 2023).

Figura 22-Eletroposto inaugurada na China pela Shell e BYD com 258 carregadores



Fonte: (PEDROSO, 2023).

O crescimento significativo da infraestrutura de recarga de veículos elétricos no Brasil é notório, ao qual foi alcançado 3.254 pontos de recarga públicos em maio de 2024, um aumento de 10,2% em relação a dezembro de 2022. Embora comparável a mercados mais desenvolvidos em termos de veículos por carregador, a distribuição ainda é desigual, com maior concentração no Sul e Sudeste. Grandes empresas, como Audi, Porsche, Raízen e Siemens, estão investindo em soluções para expandir a oferta e melhorar a acessibilidade, com iniciativas como a instalação de carregadores rápidos em postos de combustíveis e locais estratégicos. Além disso, startups como a Voltbras buscam otimizar a gestão dessa infraestrutura, enquanto empresas como a Siemens desenvolvem tecnologias avançadas para recargas ultrarrápidas e residenciais (VENDITTI, 2023).

2.6. Cenário Brasil

No Brasil, o mercado de carros elétricos também apresentou avanços, embora de forma mais gradual, em comparação com os grandes mercados globais. Em 2023, houve um crescimento considerável nas vendas de veículos elétricos no país, representando uma participação de cerca de 3% do total de veículos vendidos mundialmente. Se trata de um crescimento significativo, mas ainda pequeno quando comparado aos países da Europa e aos Estados Unidos (IEA, 2023). A principal barreira à adoção em massa de carros elétricos no Brasil continua sendo o alto custo dos veículos, que limita o acesso de grande parte da população a essa tecnologia. A falta de uma rede de recarga suficiente também é um obstáculo, principalmente nas regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos, o que dificulta a adoção por parte dos consumidores (PARENTE, 2024).

Apesar desses desafios, o governo brasileiro tem adotado algumas medidas para estimular o mercado de veículos elétricos, alguns desses incentivos estão apresentados na Tabela 5. Iniciativas como isenções de impostos para carros elétricos e a criação de políticas de incentivos para a infraestrutura de recarga, como o Programa Veículo Elétrico Brasileiro (PVE), buscam mitigar as dificuldades enfrentadas pelos consumidores e pelas montadoras. No entanto, a implementação de tais políticas ainda não alcançou grandes patamares, o que resulta em um crescimento mais lento em comparação com outros países (IEA, 2023).

Atualmente, alguns estados brasileiros oferecem incentivos fiscais para veículos elétricos e híbridos, conforme apresentado na Tabela 5. A redução do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), a adesão a esses programas varia, sendo que alguns estados oferecem isenção total, enquanto outros proporcionam descontos significativos no IPVA. A cidade de São Paulo, por exemplo, implementou recentemente legislação que regulamenta a instalação de pontos de recarga em edifícios residenciais e comerciais, além de permitir o uso de créditos de IPVA para o pagamento do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) para proprietários de veículos elétricos, híbridos ou movidos a hidrogênio (MACHADO, 2024).

Tabela 5 - Leis de Incentivo para EVs no Brasil

Tipo	(Nº)Lei	Detalhes	Ano	Referências
Federal	12.714/2012	Mobilidade elétrica, aumento dos pontos de recarga no País	2021	(RIBEIRO, 2021)
Federal	PL6020-2019	Incentivo a pesquisa sobre mobilidade elétrica no Brasil	2019	(BARROS, 2019)
Federal	14.182/2021	Programa de Incentivo à Mobilidade Sustentável, incluindo redução de IPI e ICMS.	2021	(BOLSONARO, 2021)
Minas Gerais	Inciso XIX do art.3º da Lei 14.937/03	Isenção de IPVA	2023	(BARRETO, 2023)
Rio de Janeiro	Lei Estadual 7.068/2015	Descontos em IPVA para carros elétricos e Híbridos	2023	(BARRETO, 2023)
Paraná	-	Isenção de IPVA	2018	(CABRAL, 2024)
Pernambuco	Decreto Estadual 10849/1992	Isenção de IPVA	2018	(CAVALCANTI, 2023)
Distrito federal	Lei nº 7.028, sancionada em 2021	Isenção de IPVA	2019	(CABRAL, 2024)
Rio grande do Sul	6074/2023	Desconto no IPVA	2023	(CABRAL, 2024)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Além de São Paulo, o estado de Minas Gerais também está com um projeto de lei nº 2.225/2024, apresentado na Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, para isenção do IPVA para todos os veículos elétricos, tanto particulares quanto comerciais, por um período de 10 anos. A iniciativa visa incentivar a adoção de veículos elétricos como uma solução para a crescente poluição atmosférica no estado, um problema agravado pela emissão de poluentes de veículos a diesel. O projeto

pretende viabilizar a criação de Ecofrotas, com foco na melhoria ambiental e na redução dos impactos negativos à saúde pública (ALMG, 2024).

2.6.1. Crescimento de vendas de carros elétricos e híbridos no Brasil

A Tabela 6 apresenta os dados de vendas de veículos leves eletrificados no Brasil. Em setembro de 2024, foi registrado a venda de 13.265 veículos leves eletrificados, consolidando o ano como mais um período de expressiva evolução da eletro mobilidade no país. No acumulado de janeiro a setembro de 2024, foram emplacados 122.548 veículos eletrificados, representando um crescimento de 113% em relação ao mesmo período de 2023, quando o total foi de 57.510 unidades. A média mensal de vendas é de 13.616 unidades, o que projeta que o total anual ultrapasse 150 mil veículos, aproximando a frota de veículos eletrificados do Brasil da marca de 400 mil unidades (ABVE, 2024).

Tabela 6 - Vendas de veículos leves eletrificados

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2012	9	16	7	3	13	23	5	3	2	2	18	16	117
2013	45	22	53	50	12	29	65	45	23	39	52	56	491
2014	93	61	65	53	94	52	61	79	71	53	87	86	855
2015	72	56	61	73	72	74	74	100	82	55	65	62	846
2016	58	64	60	137	41	91	48	59	79	93	159	202	1.091
2017	178	157	227	176	208	238	268	627	384	243	240	350	3.296
2018	272	254	367	367	302	382	262	262	286	405	374	437	3.970
2019	370	287	336	290	357	716	960	867	1.264	1.989	2.013	2.409	11.858
2020	1.568	2.053	1.570	442	601	1.334	1.668	1.943	2.113	2.273	2.231	1.949	19.745
2021	1.321	1.389	1.872	2.708	3.102	3.507	3.625	3.873	2.756	2.787	3.505	4.545	34.990
2022	2.558	3.435	3.851	3.123	3.387	4.073	3.136	4.249	6.391	4.460	4.995	5.587	49.245
2023	4.503	4.294	5.989	4.793	6.435	6.225	7.462	9.351	8.458	9.537	10.601	16.279	93.927
2024	12.026	10.451	13.613	15.206	13.612	14.396	15.312	14.667	13.265				122.548
TOTAL GERAL (2012 A 2024)													342.979



Fonte: (ABVE, 2024).

Esse crescimento também está acompanhado pela evolução da infraestrutura de recarga elétrica, que tem como meta a marca simbólica de 10 mil eletro postos em 2024. Essa expansão tem sido crucial para o crescimento do mercado de veículos

elétricos, sendo que os veículos BEV representam 70% das vendas no acumulado de 2024, totalizando 86.326 unidades (CESAR, 2024).

2.6.2. Evolução da infraestrutura para veículos elétricos no Brasil

Segundo Ricardo Bastos, presidente da Associação Brasileira de veículos elétricos, "o aumento das vendas de veículos eletrificados está impulsionando um amplo ecossistema de empresas associadas à eletromobilidade nas principais regiões do país". Ele complementa: "Essa expansão está gerando empregos, renda e investimentos, não apenas na produção de veículos, mas também na fabricação de equipamentos, componentes, peças, softwares e na prestação de serviços"(ABVE, 2024).

A evolução da infraestrutura de recarga também foi observada em estados como o Maranhão, onde houve um crescimento de 172,5% na quantidade de eletro postos em apenas cinco meses, passando de 40 para 109. As regiões Sudeste, Norte, Nordeste e Centro-Oeste se destacam como as maiores responsáveis pelo aumento das vendas de veículos eletrificados, com as capitais São Paulo, Brasília e Rio de Janeiro liderando as vendas (PEREIRA JUNIOR, 2024).

No estado do Paraná, uma parceria entre a concessionária local e a usina hidrelétrica de Itaipu resultou na criação do primeiro eletro via do país, indicado na Figura 23. Iniciando em Curitiba e estendendo-se pela BR-277 até Foz do Iguaçu, a eletro via é composta por oito eletro postos, cada um com capacidade de 40 kWh (COPEL, 2019). Desde sua implementação, a eletro via experimentou um aumento significativo no número de abastecimentos, refletindo os investimentos da companhia em pesquisas de mobilidade elétrica. Em 2019, foram registradas 330 recargas, totalizando 2.914 kWh de energia consumida. Em 2020, esse número aumentou para 600 recargas em relação ao ano anterior, com a estação de Curitiba concentrando a maior parte desses abastecimentos. As recargas de aproximadamente 20 kWh, proporcionam uma autonomia média de 200 km, ao custo aproximado de R\$ 17,00. Vale ressaltar que, como projeto de pesquisa e desenvolvimento, os custos são subsidiados pelos recursos do projeto (COPEL, 2021).

Figura 23 - Eletrovia Paranaense



Fonte: (COPEL, 2021).

A Tabela 7, apresentada a seguir, aponta o crescimento da quantidade de pontos de recarga no Brasil, considerando um recorte de dezembro de 2020 a agosto de 2024. É interessante destacar que houve um crescimento superior a 3000%, considerando todo o recorte, o que evidencia o aquecimento do mercado de veículos elétricos no Brasil.

Tabela 7 - Crescimento dos pontos de recarga no Brasil

DATA	QUANTIDADE
Dezembro/2020	350
Março/2021	500
Fevereiro 2022	1250
Outubro 2022	2862
Dezembro/2022	2955
Maio 2023	3200
Junho 2023	3503
Agosto 2023	3800
Dezembro 2023	4300
Março 2024	7758
Julho 2024	8800
Agosto 2024	10622

Fonte: (ABVE, 2024).

2.6.3. Eficiência energética dos EVs vendidos no Brasil

O Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), avalia a eficiência energética dos veículos no Brasil. A principal métrica utilizada é a Eficiência Energética, medida em Mega Joules por quilômetro (MJ/km), que indica o consumo de energia dos veículos, sejam eles elétricos, híbridos ou a combustão. Para os veículos elétricos e híbridos plug-in, também se considera a autonomia máxima com energia elétrica, dado relevante devido à limitada infraestrutura de recarga no país (BRITO, 2024).

Os veículos são classificados com etiquetas que vão de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), e aqueles mais econômicos recebem o selo *Conpet* de eficiência energética. A metodologia inclui uma estimativa de consumo equivalente para veículos elétricos e híbridos plug-in, apresentada em quilômetros por litro (km/l), tanto para uso urbano quanto rodoviário. O PBEV fornece uma base para comparar a eficiência dos veículos de forma padronizada, auxiliando os consumidores na escolha

dos modelos mais eficientes (BRITO, 2024). Para 2024, a classificação dos veículos elétricos é baseada na eficiência energética e na autonomia máxima, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Ranking de Eficiência energética segunda a (PBEV)

	Eficiência Energética (MJ/km)	Autonomia	Equivalente cidade (km/l)	Equivalente Estrada (km/L)
1º Mini Dolphin	0,42	291	51,9	43,5
2º Kona EV	0,44	252	52,05	40,6
3º KwidE-tech	0,44	185	52,7	39,6
4º Fiat 500E	0,46	227	47,3	40,4
5º Chery EQ1	0,46	198	50,8	38,6
6º Jac E-JS4	0,47	307	47,5	39,1
7º GM Bolt	0,48	390	45,8	39
8º Bolt EUV	0,48	377	47,2	38,2
9º Volvo C40	0,49	385	44,2	38,4
10º JAC E-J7	0,50	263	44	37,1

Fonte: (BRITO, 2024).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido com base em uma abordagem mista, integrando métodos qualitativos e quantitativos, para analisar o tema da eletrificação de frotas com foco nos desafios e perspectivas de implementação. O desenvolvimento do trabalho seguiu as etapas descritas abaixo:

1. Definição do Problema e Objetivos

A primeira etapa consistiu na definição clara do problema a ser estudado e dos objetivos do trabalho. Isso incluiu delimitar o foco no processo de eletrificação de frotas, abrangendo carros híbridos e elétricos, com ênfase em questões como impacto ambiental, viabilidade econômica, desafios tecnológicos e políticas públicas.

2. Revisão Bibliográfica e Contextualização

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica para embasar teoricamente o estudo. A revisão incluiu livros, artigos científicos, publicações acadêmicas, relatórios de mercado e manuais técnicos. Essa etapa buscou abordar:

- Avanços tecnológicos em veículos elétricos e híbridos;
- Impactos ambientais e econômicos da eletrificação;
- Políticas públicas e incentivos fiscais no Brasil e no mundo;
- Tendências globais.

3. Pesquisa de Mercado

Uma pesquisa foi conduzida para coletar dados sobre a percepção do mercado em relação à eletrificação de frotas. A pesquisa foi realizada com um total de 31 pessoas que se enquadravam como conhecedores ou proprietários de veículos elétricos ou híbridos, assim como especialistas, entusiastas ou usuários. Desses, 11 foram entrevistados para uma compreensão mais aprofundada de suas percepções. O instrumento de coleta foi um questionário estruturado, aplicado por meio da ferramenta Google Forms, conforme Apêndice A, contemplando os seguintes aspectos:

- Opiniões sobre a viabilidade de veículos elétricos e híbridos em frotas;
- Barreiras percebidas, como custo inicial, infraestrutura de recarga e autonomia;
- Expectativas de benefícios, como redução de emissões e economia a longo prazo;
- Perfil socioeconômico dos participantes, incluindo idade, região e ocupação.

4. Entrevistas com Respondentes

Para complementar a pesquisa, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com especialistas da área, como gestores de frotas proprietários, e entusiastas do mundo automotivo. O objetivo foi compreender em profundidade os desafios técnicos, estratégicos e operacionais relacionados à eletrificação de frotas. Essa pesquisa foi orientada conforme Apêndice A.

5. Integração e Discussão dos Resultados

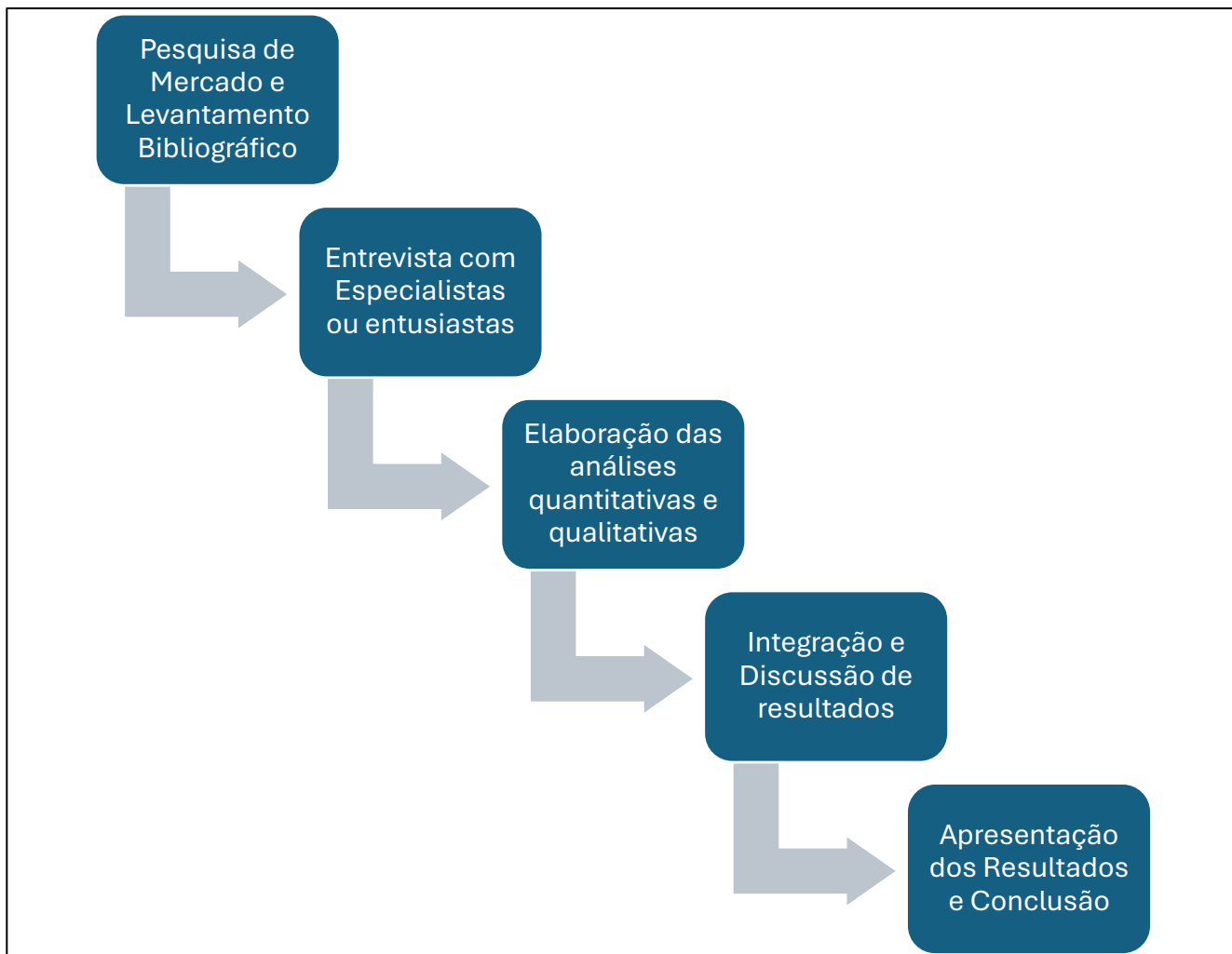
Os dados quantitativos e qualitativos foram analisados de forma integrada, buscando estabelecer conexões entre as percepções do mercado, os desafios técnicos e os cenários projetados. Essa etapa permitiu uma visão holística sobre o tema e a proposição de estratégias viáveis para a eletrificação de frotas.

6. Apresentação dos Resultados e Conclusão

Por fim, os resultados e as conclusões foram apresentados de forma clara e organizada, destacando as contribuições do estudo para o campo da mobilidade sustentável.

A seguir, na Figura 24, está disposto um fluxograma das etapas desenvolvidas nesse trabalho.

Figura 24 - Fluxograma utilizado no desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

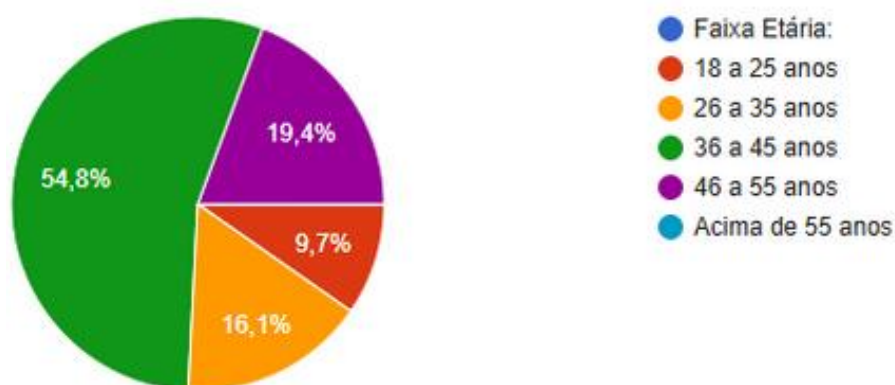
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da pesquisa de campo, conforme Apêndice A, demonstram as percepções e os desafios de uma amostra, com 31 entrevistados, que são usuários, entusiastas ou especialistas em veículos elétricos ou híbridos quanto à adoção e utilização. Por meio das respostas coletadas, foi possível identificar alguns pontos positivos quanto aos desafios que limitam o avanço desse segmento no Brasil.

4.1. Pesquisa de campo

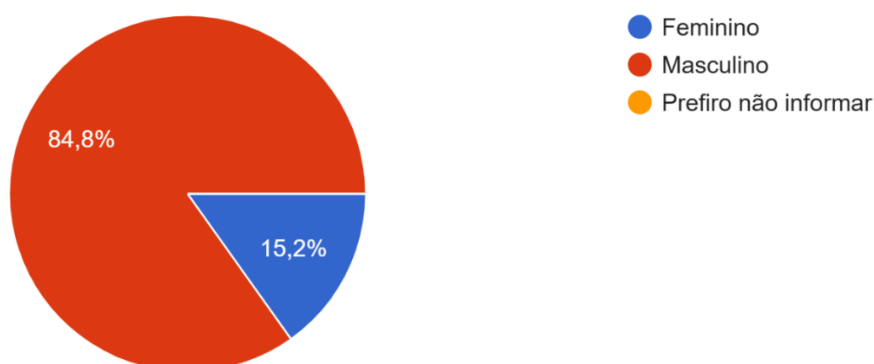
O perfil demográfico dos entrevistados, como ilustrado na Figura 25, mostra uma predominância de indivíduos entre 36 e 45 anos. O recorte etário indica uma faixa de público em plena capacidade produtiva e financeira, o que pode explicar o alto interesse nessa tecnologia ainda de alto custo. A prevalência masculina e o elevado nível educacional, revelados nas Figuras 26 e 27, também reforçam a ideia de que veículos elétricos e híbridos encontram maior adesão entre segmentos tecnicamente informados e financeiramente privilegiados.

Figura 25 - Faixa etária dos entrevistados



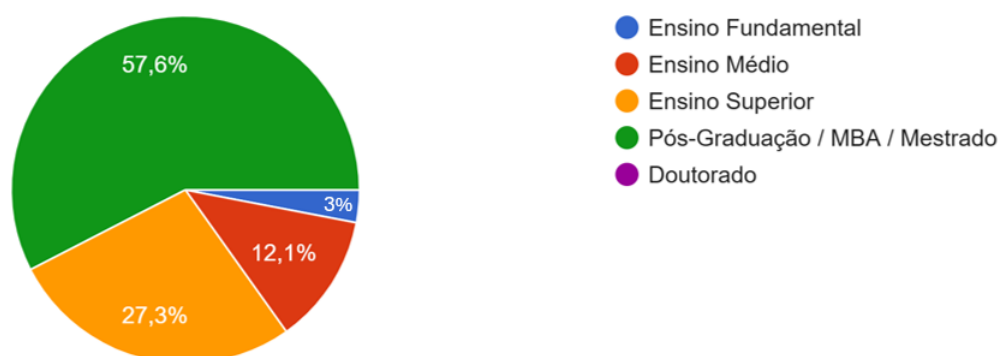
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 26 - Gênero dos entrevistados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

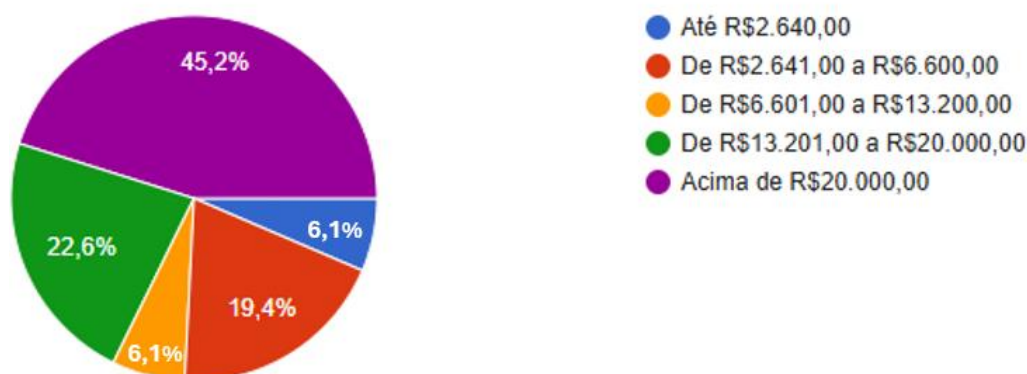
Figura 27 - Nível de escolaridade dos entrevistados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O dado sobre a renda mensal dos entrevistados, representado na Figura 28, evidencia que 45% possuem rendimentos superiores a R\$ 20.000,00, consolidando a percepção de que a adesão atual é impulsionada por consumidores de maior poder aquisitivo. No entanto, a presença de 6,1% dos entrevistados com renda inferior a R\$ 2.640,00 sugere uma possibilidade de democratização desse mercado, com impactos vindos de políticas públicas ou avanços na acessibilidade tecnológica.

Figura 28 - Salário médio dos entrevistados

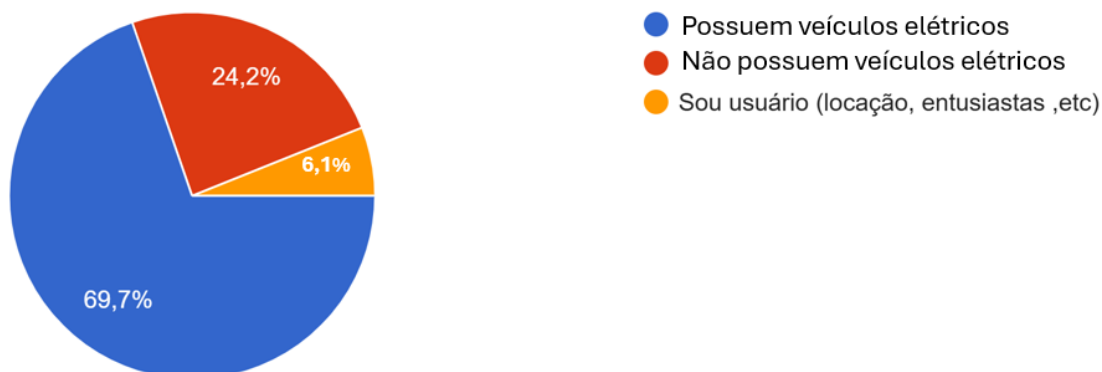


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Essa concentração de consumidores de maior poder aquisitivo está diretamente ligada ao elevado custo inicial dos veículos elétricos, que engloba tanto o preço de aquisição quanto os encargos tributários associados. Estudos apresentados na revisão bibliográfica destacam que, enquanto tecnologias avançam e a escala de produção aumenta, há tendência de redução de preços, impulsionada pela competitividade de mercado e pela queda nos custos das baterias, que representam uma das maiores parcelas do valor do veículo. Ademais, políticas públicas como subsídios diretos, isenções fiscais e programas de financiamento acessível podem desempenhar papel fundamental na ampliação do acesso, permitindo que um público de menor renda também passe a adotar essas tecnologias, contribuindo para a inclusão e a transição energética sustentável.

No que diz respeito à propriedade de veículos, 69,7% dos participantes possuem um veículo elétrico ou híbrido e 30,3% são entusiastas ou usuários que tiveram experiências através do aluguel de veículos, conforme Figura 29. Esse dado sinaliza o crescente interesse pelo uso flexível, sugerindo que opções compartilhadas ou aluguel podem ser estratégias importantes para popularizar a mobilidade elétrica, sobretudo enquanto os custos de aquisição permanecerem elevados. Entretanto, questões como infraestrutura de recarga insuficiente, altos custos de aquisição e desvalorização dos veículos ainda se destacam como barreiras significativas.

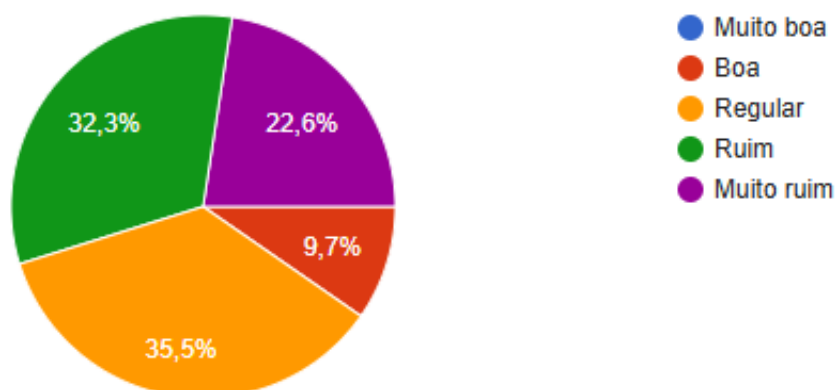
Figura 29 - Tipo de veículo que os entrevistados possuem



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A percepção negativa sobre a infraestrutura de recarga, Figura 30, ao qual 22,6% classificaram-na como "muito ruim" e 32,3% como "ruim", reflete a precariedade que ainda limita a expansão do setor. A análise ressalta que o aumento da rede de recarga não é apenas uma questão logística, mas essencial para estimular a confiança dos consumidores na utilização diária dos veículos elétricos.

Figura 30 - Opinião dos entrevistados sobre a infraestrutura de recargas



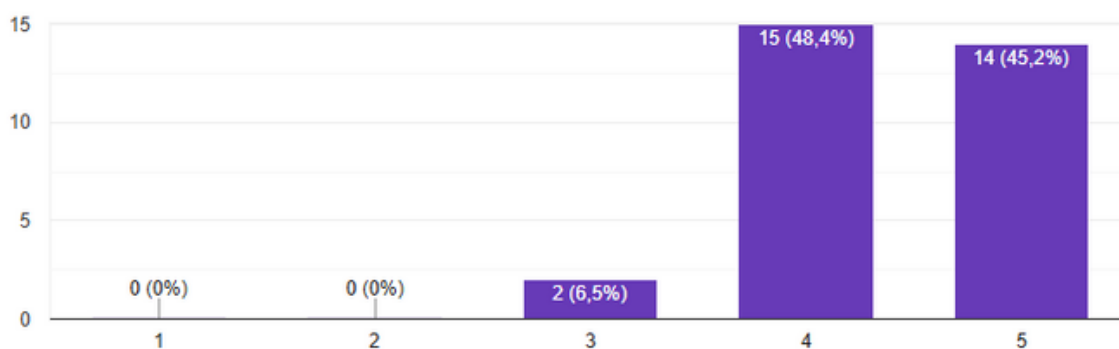
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A ausência de uma rede de recarga adequada também impacta diretamente na viabilidade econômica dos veículos elétricos, especialmente para aqueles que os utilizam em deslocamentos urbanos frequentes ou viagens de longa distância. Conforme destacado na revisão bibliográfica, países com maior penetração de veículos eletrificados, como é o caso da China, investiram massivamente em infraestruturas públicas e privadas de recarga, o que não só ampliou a confiança dos

consumidores, como também fomentou parcerias entre governos e empresas para promover soluções inovadoras, como recarga rápida e sistemas interoperáveis.

A Figura 31 retrata a importância, do ponto de vista dos entrevistados, em relação ao valor do veículo para a realização da aquisição. Pode ser constatado que a maioria dos entrevistados consideram o valor como relevante para a aquisição, todavia, não foi considerado completamente importante. Esse resultado pode estar correlacionado com o perfil de maior poder aquisitivo da amostra. Contudo, à medida que o mercado se expandir para outros segmentos de renda, essa variável deve se tornar crítica, evidenciando a necessidade de soluções que reduzam os custos de aquisição.

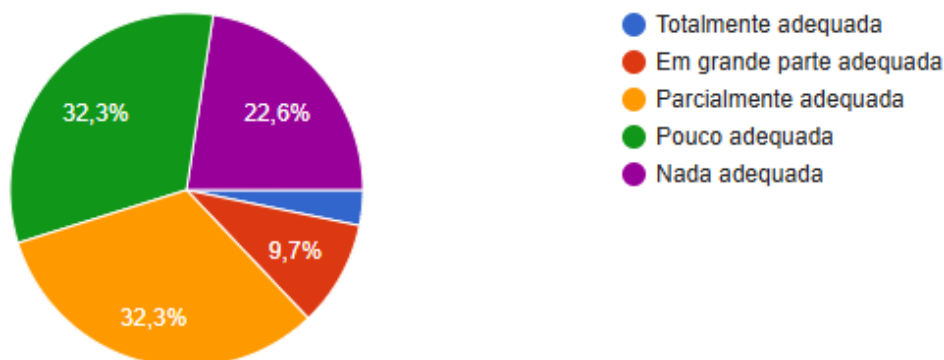
Figura 31 - Importância do valor para aquisição (1- Irrelevante) - (5- Importante)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A avaliação sobre a adequação das rodovias, Figura 32, considerada "pouco" ou "nada adequada" por 54,9% dos entrevistados, demonstra outro obstáculo para a mobilidade elétrica. Essa situação demanda investimentos em melhorias viárias e estruturas específicas, como faixas exclusivas ou suporte técnico, para garantir o uso seguro e eficiente desses veículos.

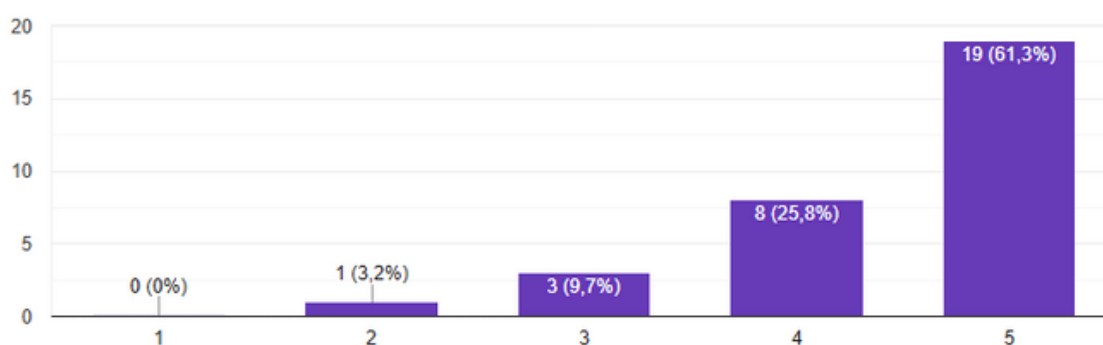
Figura 32 - Percepção dos entrevistados a respeito da infraestrutura das rodovias



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Outro ponto abordado entre os entrevistados, Figura 33, foi o valor de investimento em manutenção dos veículos elétricos, sendo que 61,3% possuem investimentos altos e 35,5% possuem investimentos de valores médios para altos. Esse ponto é relevante para aquisição, visto que se trata de um mercado em completo desenvolvimento, tanto em tecnologias quanto em conhecimento técnico por parte dos mecânicos de manutenção, dessa forma os custos com peças de reposição específicas e mão de obra qualificada tornam as manutenções com valores elevados.

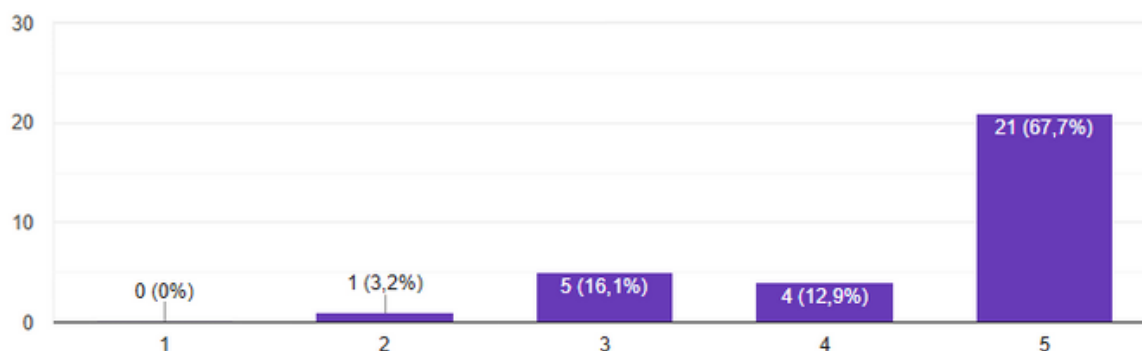
Figura 33 - Valor investido em manutenção (1- Baixo) – (5- Alto)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Apesar dessas barreiras, a percepção de economia a longo prazo, Figura 34, foi positiva, sendo classificada como "muito econômica" por uma parcela significativa dos entrevistados. Isso sugere que a mobilidade elétrica já oferece uma vantagem financeira sustentável em comparação aos combustíveis fósseis, principalmente em cenários de instabilidade dos preços de gasolina e diesel.

Figura 34 - Percepção dos entrevistados de economia a longo prazo (1- Pouco econômico) - (5- Muito econômico)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Esses resultados indicam a necessidade de ações coordenadas para fomentar o setor no Brasil. Políticas públicas mais abrangentes, como incentivos fiscais e créditos facilitados, aliados a campanhas educativas, podem acelerar a aceitação e o crescimento do mercado de veículos elétricos. O papel do governo e da iniciativa privada na ampliação de infraestrutura de recarga e manutenção é indispensável para transformar os desafios em oportunidades e tornar a mobilidade elétrica uma realidade inclusiva e sustentável.

Em síntese, a pesquisa reforça que, embora existam desafios significativos, a mobilidade elétrica no Brasil apresenta potencial de crescimento. Esse processo, no entanto, depende de esforços coordenados entre governo, iniciativa privada e sociedade para superar as barreiras identificadas e transformar a mobilidade elétrica em uma solução viável, sustentável e acessível a todos.

4.1.1 Análise cruzada das respostas

a) Renda vs. Fatores Econômicos

- Respondentes com renda acima de R\$20.000,00 (45,5% da amostra) tendem a valorizar mais a **economia a longo prazo** e os **custos de manutenção**. Isso reflete uma preocupação com o retorno financeiro do investimento em veículos elétricos/híbridos.

- Já os respondentes com renda mais baixa (até R\$6.600,00) podem estar mais preocupados com o **custo de recarga** e o **preço do sistema de carregamento**. Isso evidencia uma preocupação com o custo diário de se manter um veículo elétrico (EVS).

b) Escolaridade vs. Percepção sobre Infraestrutura

- Respondentes com pós-graduação/MBA/Mestrado (57,6%) tendem a ser mais críticos em relação à infraestrutura de recarga e rodovias. Isso pode estar relacionado a uma maior expectativa em relação à qualidade e disponibilidade de serviços.

4.2. Entrevista com os Respondentes

A pesquisa qualitativa revelou percepções relevantes sobre as principais barreiras e oportunidades para o desenvolvimento do mercado de veículos híbridos e elétricos no Brasil. Uma das questões mais recorrentes entre os participantes foi a insuficiência da infraestrutura de recarga, que atualmente limita viagens de média e longa distância. Essa limitação não apenas reduz a confiança dos usuários, como também aumenta a insegurança em relação à disponibilidade de energia. Além disso, foi criticada a dependência de aplicativos para acesso aos eletropostos, sugerindo que o processo de recarga deve ser mais simplificado e acessível.

Outra necessidade identificada é a ampliação dos pontos de recarga rápida em locais estratégicos de grande fluxo de veículos, como shoppings, supermercados, hotéis e demais estabelecimentos comerciais. Políticas públicas que incentivem esses estabelecimentos a instalarem eletropostos foram recomendadas como forma de facilitar a integração do sistema de recarga no dia a dia dos consumidores.

Além da infraestrutura, incentivos fiscais foram apontados como indispensáveis para o avanço dessa tecnologia no país. Sugestões incluem descontos no IPVA ou até mesmo a isenção de impostos, o que poderia fomentar a adoção de veículos mais sustentáveis. Contudo, destacou-se a desigualdade entre estados no oferecimento desses benefícios, como ocorre no Paraná, que carece de políticas que promovam a eletrificação da frota. Essa ausência de incentivos prejudica o avanço do setor em diversas regiões, freando o processo de descarbonização urbana.

A baixa autonomia dos veículos elétricos também foi identificada como uma barreira crítica. Modelos com menos de 1.200 km de autonomia real são considerados pouco viáveis, especialmente em um país com dimensões continentais como o Brasil. Outro desafio associado é a elevada desvalorização desses veículos no mercado de usados, desestimulando novos compradores. Para resolver isso, seria necessário implementar políticas que reduzam os altos impostos e promovam a valorização dos carros elétricos ao longo do tempo, criando um mercado mais equilibrado.

A pesquisa também destacou a escassez de oficinas especializadas e profissionais capacitados para realizar a manutenção de veículos híbridos e elétricos. O Brasil, ainda predominantemente orientado à busca por serviços de baixo custo, enfrenta desafios relacionados à qualidade dos serviços técnicos para esses carros altamente tecnológicos. Essa deficiência pode resultar em problemas crônicos para os usuários no longo prazo. Portanto, investir na formação de mão de obra qualificada é essencial para garantir a confiabilidade dessa tecnologia.

Outro ponto levantado é a existência de preconceitos contra veículos elétricos, o que demanda esforços de conscientização e campanhas educativas para desmistificar ideias equivocadas e reforçar os benefícios ambientais e econômicos dessa alternativa sustentável.

Uma perspectiva interessante apontada pelos participantes é a valorização de soluções híbridas que envolvam o uso do etanol. Dado o histórico positivo do Brasil com biocombustíveis e a matriz energética predominantemente renovável, essas soluções podem ser particularmente vantajosas, combinando avanços tecnológicos com características já estabelecidas na indústria automotiva nacional.

Por fim, há preocupações quanto à segurança de veículos elétricos em edificações, especialmente no que diz respeito ao risco de incêndios. Normas claras e regulamentações específicas são necessárias para mitigar esses riscos, particularmente em estacionamentos de edifícios e outros espaços fechados.

Os resultados da pesquisa evidenciam a necessidade de um conjunto integrado de ações para que o mercado de veículos híbridos e elétricos possa prosperar no Brasil. Isso inclui investimentos em infraestrutura, incentivos fiscais consistentes, capacitação profissional, promoção de soluções híbridas, maior conscientização social e regulamentações que garantam a segurança. Essas iniciativas têm o potencial

de transformar a adoção dessa tecnologia em uma realidade, alinhando o país às tendências globais de sustentabilidade e inovação no setor automotivo.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou alguns conceitos preliminares a respeito dos veículos elétricos e híbridos, assim como os principais desafios para a eletrificação de frotas. Pôde ser constatado que o processo de eletrificação ainda necessita de alguns ajustes para se consolidar, todavia, o avanço tecnológico está possibilitando que esse tempo de ajuste seja abreviado.

Os objetivos estipulados neste trabalho foram definidos para analisar a viabilidade da eletrificação dos veículos no Brasil, confrontando a teoria com a experiência prática de usuários e proprietários de modelos híbridos e elétricos. Além disso, buscou-se avaliar os impactos socioambientais, a viabilidade econômica, o desempenho e a fabricação desses veículos. Como parte das metas, destaca-se a realização de uma pesquisa de mercado sobre o perfil socioeconômico dos usuários de carros elétricos, a análise de vantagens e desvantagens dos veículos elétricos, híbridos e a combustão, e a investigação da infraestrutura regional, com ênfase na manutenção e nos pontos de recarga, para fundamentar uma visão prática e sustentável sobre a transformação do setor automotivo.

A mobilidade elétrica não é mais uma tendência futura, mas uma realidade que busca se consolidar através dos desafios ambientais, sociais e econômicos da atualidade. Este trabalho, ao analisar a eletrificação de frotas no Brasil, expôs um panorama diversificado, que vai além dos benefícios óbvios associados à sustentabilidade. Ele revelou os desafios de ordem técnica, como a necessidade de expandir e padronizar a infraestrutura de recarga, bem como os desafios econômicos e culturais que dificultam uma adoção em grande escala dessa tecnologia no cenário nacional.

O estudo destacou como a evolução tecnológica, impulsionada pela crescente preocupação com as mudanças climáticas, vem transformando o setor automotivo. A superioridade dos veículos elétricos em termos de eficiência energética e redução de emissões de poluentes os tornam protagonistas na transição para um modelo de transporte mais limpo e eficiente. Porém, como observado, essa transformação exige uma abordagem integrada, envolvendo investimentos em infraestrutura, políticas públicas robustas, e incentivos que reduzam os custos iniciais de aquisição e manutenção.

O referencial bibliográfico juntamente com a pesquisa de campo, evidencia que o brasileiro está aderindo ao veículo elétrico gradualmente, e isso acontece de forma acelerada quando comparado a evolução da infraestrutura rodoviária, eletro postos, mão de obra qualificada e incentivos governamentais. Em síntese, embora os desafios sejam significativos, o Brasil possui um mercado promissor para a mobilidade elétrica. O engajamento do governo, da indústria e da sociedade será essencial para superar as barreiras identificadas e acelerar a transição para um modelo de transporte mais sustentável. A adoção de veículos híbridos e elétricos representa não apenas uma oportunidade de modernização tecnológica, mas também um caminho viável para a redução de impactos ambientais e o fortalecimento da economia nacional, com a fabricação em território brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ABVE. **Infraestrutura de recarga acelera no país**. Disponível em: <https://abve.org.br/infraestrutura-de-recarga-acelera-no-pais-e-apresenta-c0r/>. Acesso em: 25 nov. 2024.
- ACHDAD, Reda. **Estratégia de distribuição de torque com eficiência energética para veículos elétricos com tração nas quatro rodas com base na zona de tráfego**. IFAC-PapersOnLine, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.310>. Acesso em: 12 dez. 2024.
- AHMADZADEH, Omidreza. **O impacto das tecnologias de redução de peso e de baterias na sustentabilidade dos veículos elétricos: uma avaliação abrangente do ciclo de vida**. Environmental Impact Assessment Review, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925524002555>. Acesso em: 12 dez. 2024.
- ALENCAR, F. **Shell inaugura o primeiro eletroposto ultrarrápido para recarga de carros elétricos do Brasil**. Hardware, 2022. Disponível em: <https://www.hardware.com.br/noticias/shell-inaugura-o-primeiro-eletropostoultrarrapido-para-recarga-de-carros-eletricos-do-brasil.html>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- ANJOS, M. F. **A infraestrutura de recarga de veículos elétricos no Brasil: desafios e perspectivas**. Revista de Tecnologia e Sustentabilidade, 2022.
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE MINAS GERAIS (ALMG). **Projeto de Lei nº 2.225/2024**. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/atividade-parlamentar/projetos-de-lei/texto/?tipo=PL&num=2225&ano=2024>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- AUTO PAPO. **Kia Stonic híbrido une o melhor de dois mundos**. 2023. Disponível em: <https://autopapo.com.br/noticia/kia-stonic-2023/>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- AUTOINDUSTRIA. **Venda de automóveis na Europa fecha com alta de 14% em 2023**. 2024. Disponível em: <https://www.autoindustria.com.br/2024/01/18/venda-de-automoveis-na-europa-fecha-com-alta-de-14-em-2023/#:~:text=As%20vendas%20de%20autom%C3%B3veis%20seguiram,35%2C7%25%20do%20total>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- BARROS, S. L. **CONGRESSO NACIONAL. Projeto de Lei n.º 6020, de 2019**. Altera a Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997, Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000 e Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018, para incentivar a pesquisa sobre mobilidade elétrica no Brasil. Iniciativa: Senadora Leila Barros (PSB/DF). Disponível em: <https://www.congressonacional.leg.br/materias/materias-bicamerais/-/ver/pl-6020-2019>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- BARRETO, P. **IPVA 2024: veja quais estados têm isenção do tributo para elétricos**. Vrum, 2023. Disponível

em: <https://www.vrum.com.br/noticias/2023/12/6774306-ipva-2024-veja-quais-estados-tem-isencao-do-tributo-para-eletricos.html>. Acesso em: 22 dez. 2024.

BISHOP, M. **Recent Advances in Engine Technology: A Review**. Automotive Engineering Journal, vol. 45, no. 2, pp. 123-134, 2024. Acesso em: 19 jul. 2024.
BLOOMBERGNEF. **Electric Vehicle Outlook 2024**. 2024. Disponível em: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

BOLSONARO, J. M. **BRASIL. Presidência da República. Lei n.º 14.182, de 12 de julho de 2021**. Dispõe sobre a desestatização da Eletrobras, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2021/Lei/L14182.htm. Acesso em: 22 dez. 2024.

BRITO, Eugênio Augusto. **Veja ranking de carros elétricos mais econômicos de 2024**. CNN Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/auto/veja-ranking-de-carros-eletricos-mais-economicos-de-2024/>. Acesso em: 28 dez. 2024.
BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. V. 1. São Paulo: Blucher, 2012.
BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. V. 1, ed. 2. São Paulo: Blucher, 2018.

CABRAL, J. **Estados dão desconto ou isentam IPVA 2024 de carros elétricos e híbridos**. Quatro Rodas, 2024. Disponível em: <https://quatorodas.abril.com.br/noticias/quais-estados-dao-desconto-ou-isentam-ipva-de-carros-eletricos-e-hibridos>. Acesso em: 22 dez. 2024.
CAMPOS, L. M.; SOUZA, A. P.; OLIVEIRA, F. R. **Avanços na tecnologia das estações de carregamento para veículos elétricos**. Jornal de Mobilidade Sustentável, 2023.

CARDOSO, Lucas. **Como funciona o motor de um carro elétrico?** Web Motors, 2023. Disponível em: <https://www.webmotors.com.br/wm1/noticias/diferencas-entre-motores-eletrico-e-a-combustao-2023>. Acesso em: 26 jun. 2024.
CAVALCANTI, J. F. F. **PERNAMBUCO. Secretaria da Fazenda. Lei n.º 10.849, de 28 de dezembro de 1992**. Dispõe sobre o Código Tributário do Estado de Pernambuco e dá outras providências. Disponível em: https://www.sefaz.pe.gov.br/Legislacao/Tributaria/Documents/Legislacao/Leis_Tributarias/1992/Lei10849_92.htm. Acesso em: 22 dez. 2024.

CESAR, Júlio. **Mobilidade elétrica no Brasil: crescimento, investimentos e futuro promissor**. InsideEVs Brasil, 2024. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/739432/mobilidade-eletrica-brasil-investimentos-futuro/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

CESAR, Júlio. **Vendas Globais de Veículos Elétricos em 2024: Tendências e Projeções**. InsideEVs Brasil, 2024. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/717131/carros-eletricos-vendas-globais-2024/>. Acesso em: 29 jan. 2025.

COPEL. **Gestão da Sustentabilidade Sustentabilidade Empresarial na Copel Estratégia de Sustentabilidade Inovação, Pesquisa e Desenvolvimento**. 2021. Disponível em: <https://copelsustentabilidade.com/gestao-da-sustentabilidade/sustentabilidade-empresarial-na-copel/estrategia-de-sustentabilidade/inovacao-pesquisa-e-desenvolvimento/inovacao/>. Acesso em: 1 dez. 2024.

CRECELIUS, D. R.; MORGANTE, J. C.; RONNING, J. J. **More efficiency with dual motor control in battery electric vehicles - MTZ Worldwide**. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s38313-019-0133-x>. Acesso em: 13 dez. 2024.

DE OLIVEIRA, Carlos Alexandre; DA ROSA, Andrea. **Motores de Combustão Interna – álcool e gasolina**. CEP SENAI Roberto Barbosa Ribas, 2003. 116 p. DELGADO, Fernanda; COSTA, José Evaldo Geraldo; FEBRARO, Júlia; SILVA, Tatiana de Fátima Bruce da. **Carros elétricos**. 2017. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/46244531-8932-42e2-8bf7-91caccfccc7e/content>. Acesso em: 20 jul. 2024.

DIAS, Miguel. **O preço das baterias dos automóveis elétricos subiu pela primeira vez em 2022**. Razão do Automóvel, 2024. Disponível em: <https://www.razaoautomovel.com/noticias/industria-preco-baterias-mais-caras-2022>. Acesso em: 26 jun. 2024.

ENERGIA INTELIGENTE. **Como Funciona – Motores a combustão interna**. [S.I.], [S.D.]. Disponível em: <https://energiainteligenteufff.com.br/como-funciona/como-funciona-motores-a-combustao-interna/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

EVBoosters. **China exceeds 1 million EV sales in August 2024, setting a new record [China excede 1 milhão de vendas de EV em agosto de 2024, estabelecendo um novo recorde]**. EV Boosters, 2024. Disponível em: <https://evboosters.com/ev-charging-news/china-exceeds-1-million-ev-sales-in-august-2024-setting-a-new-record/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

FELDMAN, B. **Primeiro carro híbrido na história? Um Porsche lançado em 1901!** AUTO PAPO, 2020. Disponível em <https://autopapo.com.br/noticia/primeiro-carro-hibrido-historia/>. Acesso em: 12 set. 2024.

FERREIRA, Vinícius Braga. **Comparação da avaliação do ciclo de vida de veículos elétricos e de combustão interna: Uma revisão sobre os principais desafios e oportunidades**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032124007147>. Acesso em: 12 dez. 2024.

FONTANA, G. **GWM Haval H6 é SUV híbrido que acelera como esportivo e faz até 28,7 km/l**. Quatro Rodas, 2022. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/testes/gwm-haval-h6-e-suv-hibrido-que-acelera-como-esportivo-e-faz-ate-287-km-l>. Acesso em: 10 dez. 2024.

FURLAN, R. **Tesla oficializa Model X, seu primeiro SUV elétrico**. Quatro Rodas. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/tesla-oficializa-model-x-seu-primeiro-suv-eletrico>. Acesso em: 17 dez. 2024.

GREENBRAS. **Como funciona o motor de um carro elétrico**. 2022. Disponível em: <https://greenbras.com/como-funciona-o-motor-de-um-carro-eletrico-2022/>. Acesso em: 24 mar. 2024.

HAWKINS, David. **A History of Electric Cars**. 1. ed. New York: Greenleaf Publishing, 2017.

IBERDROLA. **O veículo elétrico: uma viagem por mais de 200 anos de história**. 2025. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/historia-carro-eletrico#:~:text=Em%201888%2C%20surgiu%20na%20Alemanha,chegar%20a%2015%20km%2Fh>. Acesso em 13 de fev 2025.

(IEA) INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global electric car-stock**. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-car-stock-2013-2023>. Acesso em: 16 out. 2024a.

(IEA) INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Trends in electric cars**. 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-electric-cars>. Acesso em: 16 out. 2024b.

IG. **Renault e Estapar irão oferecer carregamento elétrico gratuito**. 2022. Disponível em: <https://carros.ig.com.br/veiculos-eletricos/2022-07-22/renault-e-estapar-irao-oferecer-carregamento-eletrico-gratuito.html>. Acesso em: 9 mai. 2024.

KANE, Mark. **Vendas de carros elétricos representaram 7,7% do mercado nos EUA em 2023**. InsideEVs, 2024. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/709255/vendas-carros-eletricos-mercado-eua/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

KEHENG. **O impacto da mineração de lítio no meio ambiente: o que está por trás da energia limpa?** 2022. Disponível em: <https://www.lithiumbatterytech.com/pt/the-impact-of-lithium-mining-on-the-environment/>. Acesso em: 18 fev. 2025.

KIA. **KIA STONIC HÍBRIDO**. 2024. Disponível em: <https://www.kia.com.br/stonic>. Acesso em: 6 ago. 2024.

LA CAMERA, Francesco. **Global energy transformation**. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/Macroeconomic-benefits/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf. Acesso em: 27 jan. 2025.

LARMINIE, James; LOWRY, John. **Electric Vehicle Technology Explained**. 2. ed. Chichester: Wiley, 2012.

MACHADO, Guilherme. **Ter um carro elétrico pode te isentar de pagar IPVA; entenda**. CNN Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/auto/ter-um-carro-eletrico-pode-te-isentar-de-pagar-ipva-entenda/>. Acesso em: 28 dez. 2024.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. 2. ed. Publindústria, 2006. 43 p.

MASHADI, Behrooz; CROLLA, David. **Vehicle Powertrain Systems**. 1. ed. Chichester: Wiley, 2011.

MCKINNON, J. **Electric Vehicles: A Global Perspective**. Green Energy Press, 2019.

MIAMI IMPORTS. **Tesla Model S Plaid**. 2024. Disponível em: <https://miamiimports.com.br/anuncio/tesla-model-s-plaid/>. Acesso em: 17 dez. 2024.

MORAES, A. **Como funcionam as baterias de veículos elétricos?** TecMundo, 2023. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mobilidade-urbana-smart-cities/261606-funcionam-baterias-veiculos-eletricos.htm>. Acesso em: 06 jun. 2024.

MORRIS, C. **Mahindra to sell its Reva e20 EV in Europe**. Charged Electric Vehicles Magazine, 2015. Disponível em: <https://chargedevs.com/newswire/mahindra-to-sell-its-reva-e20-ev-in-europe/>. Acesso em: 17 dez. 2024.

MURRAY, Adrienne. **Como a Noruega, 'país do petróleo', se tornou líder em carros elétricos**. BBC News Brasil, 18 jan. 2025. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cj3emvg7eq6o>. Acesso em: 28 jan. 2025.

NAKASHIMA, Guilherme Yuji Colmanetti. **Análise do motor CC sem escovas**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/4fe55356-bb4d-4be8-9e5b-a8478691bcd3/content>. Acesso em: 13 set. 2024.

NEOCHARGE. **Como funciona o motor de um carro elétrico**. 2024. Disponível em: https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/motor-como-funciona?srsId=AfmBOorkf_0VQnHZA9H0KO8HB-wciX0DS-clzu55kIYnD0HW_xrJdYF-pagina. Acesso em: 7 abr. 2024.

NISSAN. **100% ELÉTRICO 100% INCRÍVEL NISSAN LEAF**. 2024. Disponível em: <https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/novo-leaf.html>. Acesso em: 21 dez. 2024.

NYKVIST, Björn; SPREI, Frances; NILSSON, Homem. **Avaliação do progresso em direção a veículos elétricos de bateria de longo alcance com preços mais baixos**. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421518306487>. Acesso em: 20 abr. 2024.

PARENTE, Lucas. **Híbridos e elétricos podem representar 90% das vendas no Brasil até 2040**. Revista Quatro Rodas, 2024. Disponível em: <https://quatorodas.abril.com.br/carros-eletricos/hibridos-e-eletricos-podem-representar-90-das-vendas-no-brasil-ate-2040>. Acesso em: 09 nov. 2024.

PEDROSO, F. **BYD e Shell inauguram maior estação de recarga de carros elétricos do mundo**. Auto Esporte, 2023. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/eletricos-e-hibridos/noticia/2023/09/byd-e-shell-inauguram-maior-estacao-de-recarga-de-carros-eletricos-do-mundo.ghtml>. Acesso em: 22 dez. 2024.

PEREIRA JUNIOR, Jackson. **Mercado de veículos elétricos no Brasil deve superar expectativas em 2024**. Economic News Brasil, 22 out. 2024. Disponível em: <https://economicnewsbrasil.com.br/2024/10/22/mercado-de-veiculos-eletricos-no-brasil-deve-superar-expectativas-em-2024/>. Acesso em: 10 nov. 2024.

PLUGSHARE. Disponível em: <https://www.plugshare.com/br>. Acesso em: 10 out. 2024.

PORTESCAP. **Fundamentos dos motores CC com escovas**. 2024. Disponível em: <https://www.portescap.com/pt-br/motores-dc>. Acesso em: 14 ago. 2024.

RADRIZZANI, Stefano. **Uma abordagem baseada na eficiência para a gestão de energia em HEVs**. IFAC-PapersOnLine, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322023114>. Acesso em: 12 dez. 2024.

RIBEIRO, J. C. **CÂMARA DOS DEPUTADOS. Projeto de Lei n.º 2156, de 2021 - Inteiro teor**. Dispõe sobre as diretrizes para a Política Nacional de Mobilidade Elétrica, e dá outras providências. Autor: Julio Cesar Ribeiro - Republicanos/DF. Apresentado em 11 jun. 2021. Situação: Aguardando designação de relator na Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJC). Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2275446>. Acesso em: 22 dez. 2024.

RODRIGUEZ, Henrique. **Como funciona um carro elétrico e o que saber antes de ter um**. 2024. Disponível em: <https://quatorodas.abril.com.br/carros-eletricos/como-funciona-um-carro-eletrico-e-o-que-saber-antes-de-ter-um>. Acesso em: 15 nov. 2024.

RODRIGUEZ, H. **Toyota Prius está no Brasil para adiantar desenvolvimento do novo Corolla**. Quatro Rodas, 2024. Disponível em: <https://quatorodas.abril.com.br/segredo/toyota-prius-esta-no-brasil-para-adiantar-desenvolvimento-do-novo-corolla>. Acesso em: 21 dez. 2024.

SANTOS, A. C.; GÓMEZ, A. M. M.; ASENSIO, E. R.; REY, A. L. **Electric vehicle charging strategy to support renewable energy sources in Europe 2050 low-carbon scenario**. Energy, v. 183, p. 61-74, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544219312502>. Acesso em: 12 dez. 2024.

SANTOS, Marcos Fernando Barbosa dos; NARDI, Julio Cesar; TEIXEIRA, Giovany Frossard; BERILLI, Sávio da Silva; CARVALHO, Victório Albani. **Evolução tecnológica dos veículos elétricos**. 2024. Disponível em: <https://revista.ibict.br/p2p/article/view/6876>. Acesso em: 26 nov. 2024.

SCHAUN, A. **Teste: Tesla Model X Plaid tem 1.020 cv, dirige sozinho e pode até ser ligado de outro país**. Auto Esporte, 2022. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/testes/noticia/2022/06/teste-tesla-model-x-plaid-tem-1020-cv-dirige-sozinho-e-pode-ate-ser-ligado-de-outro-pais.ghtml>. Acesso em: 10 dez. 2024.

SCHIAVI, Marcela Taiane. **Estudo das tendências e desenvolvimentos tecnológicos do carro elétrico no Brasil**. 2020. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13246>. Acesso em: 26 jul. 2024.

SIERZCHULA, William; BAKKER, Sjoerd; MAAT, Kees; VAN WEE, Bert. **The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption**. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421514000822>. Acesso em: 26 jun. 2024.

SIMÃO, Maileen Schwarz. **Regulamentação e padrões para infraestrutura de recarga de veículos elétricos: uma análise comparativa entre o Brasil e os principais países da eletromobilidade**. Journal of Energy Storage, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138824005150>. Acesso em: 12 dez. 2024.

SOUZA, Carolina Curassá Rosa de; HIROI, Jaqueline. **O mercado de carros elétricos no Brasil: análise de entraves e sugestões para expansão**. 2021. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/4f13e532102105ce80e880b713390204/1?pq-origsite=gscholar&cbl=4941437>. Acesso em: 26 dez. 2024.

STEIN, R. T.; KUREK, R. K. M.; POZZAGNOLO, M. **ESTUDO DA EMISSÃO DE GASES DE VEÍCULOS DO CICLO OTTO NO MUNICÍPIO DE LAJEADO/RS**. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/IV-003.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2024.

TOYOTA. **RAV4 Chegou o RAV4 2024**. 2024. Disponível em: <https://www.toyota.com.br/modelos/rav4>. Acesso em: 17 dez. 2024.

VENDITTI, M. S. **Brasil chega a 3.200 eletropostos de recarga**. Mobilidade Estadão, 2023. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/inovacao/brasil-chega-a-3-200-eletropostos-de-recarga/>. Acesso em: 22 dez. 2024

APÊNDICE A — Dados da pesquisa realizada

Pesquisa: Eletrificação da Frota Nacional (HEV & VE).

Total de 31 entrevistados.

Bloco 1: Informações Pessoais

Faixa Etária:

18 a 25 anos

26 a 35 anos

36 a 45 anos

46 a 55 anos

Acima de 55 anos

Gênero:

Feminino

Masculino

Prefiro não informar

Nível de Escolaridade:

Ensino Fundamental

Ensino Médio

Ensino Superior

Pós-Graduação / MBA / Mestrado

Doutorado

Renda Pessoal Bruta Mensal:

Até R\$2.640,00

De R\$2.641,00 a R\$6.600,00

De R\$6.601,00 a R\$13.200,00

De R\$13.201,00 a R\$20.000,00

Acima de R\$20.000,00

Estado de Residência:

Acre

Bahia

Goiás

Minas Gerais

Pernambuco

Alagoas

Ceará

Maranhão

Pará

Piauí

Outros (especificar)

Bloco 2: Propriedade de Veículos

Você é proprietário de um veículo elétrico ou híbrido, ou usuário?

Sim

Não

Sou usuário (locação, entusiasta, etc.)

Caso possua um veículo, qual é o tipo de motorização?

Veículo Elétrico

Veículo Híbrido (combustível e elétrico)

Qual é a marca do seu veículo?

BYD

BMW

JAC

Hyundai

Nissan

Renault

Chevrolet

Jaguar

Volvo

Toyota
Caoa Cherry
Tesla
Peugeot
GWM
Outros (especificar)

Você tem interesse em adquirir um veículo elétrico ou híbrido?

Veículo Elétrico
Veículo Híbrido (combustível e elétrico)
Não tenho interesse
Outros (especificar)

Bloco 3: Infraestrutura e Manutenção

Como você avalia a disponibilidade de pontos de recarga para veículos elétricos na sua região?

Muito boa
Boa
Regular
Ruim
Muito ruim

Você considera que a infraestrutura de rodovias é adequada para a circulação de veículos elétricos e híbridos?

Totalmente adequada
Em grande parte adequada
Parcialmente adequada
Pouco adequada
Nada adequada

Qual é a sua percepção sobre a manutenção de veículos elétricos e híbridos em sua área?

Excelente

Boa

Regular

Ruim

Muito ruim

Outros (especificar)

Bloco 4: Fatores Psicológicos

1. Avalie o grau de importância de cada fator psicológico na sua decisão de compra de veículos elétricos:

13. Marca do Veículo (1 a 5)

14. Conforto (1 a 5)

15. Segurança (1 a 5)

16. Opiniões de outros consumidores (1 a 5)

Bloco 5: Fatores Econômicos

2. Indique a relevância de cada fator econômico na sua intenção de compra de veículos elétricos:

17. Preço de aquisição (1 a 5)

18. Valor agregado (1 a 5)

19. Economia a longo prazo (1 a 5)

20. Custos de manutenção (1 a 5)

21. Custo de recarga (1 a 5)

22. Preço do sistema de carregamento (1 a 5)

23. Benefícios fiscais (1 a 5)

24. Subsídios do governo (1 a 5)