

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

João Pedro Monteiro Bastos Ornellas

**VEÍCULOS ELÉTRICOS E OS IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO E
DESCARTE DE BATERIAS**

Betim
2025

JOÃO PEDRO MONTEIRO BASTOS ORNELLAS

**VEÍCULOS ELÉTRICOS E OS IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO E
DESCARTE DE BATERIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Bruno de Souza Baptista

Betim

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

O74v Ornellas, João Pedro Monteiro Bastos

Veículos elétricos e os impactos ambientais da produção e descarte de baterias / João Pedro Monteiro Bastos Ornellas. – 2025.

80 f. : il.

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

Orientação: Prof. Me. Bruno de Souza Baptista

1. Veículos elétricos. 2. Baterias elétricas. 3. Veículos híbridos. 4. Impactos ambientais. 5. Engenharia Mecânica. I. Ornellas, João Pedro Monteiro Bastos. II. Título.

CDU: 629.3



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 19 dias do mês de agosto do ano de 2025, às dezoito horas, nas dependências do IFMG - *Campus* Betim, reuniu-se a banca examinadora presidida por mim, Bruno de Souza Baptista e demais membros, Felipe Augusto Rocha da Silva e Flávio Magno de Carvalho Fonseca. Nesta ocasião o discente João Pedro Monteiro Bastos Ornellas do curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, com registro acadêmico de número 0029569 do IFMG - *Campus* Betim, defendeu seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “VEÍCULOS ELÉTRICOS E OS IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO E DESCARTE DE BATERIAS” e foi APROVADO, com 85 (oitenta e cinco) 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 30 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 vinte horas. Para constar, eu, Bruno de Souza Baptista, redigi a presente ata que após lida publicamente, foi aprovada e assinada pelos membros da banca examinadora.

Betim, 12 de setembro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno de Souza Baptista, Professor**, em 12/09/2025, às 17:50, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Magno de Carvalho Fonseca, Professor**, em 13/09/2025, às 09:45, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Augusto Rocha da Silva, Professor EBTT**, em 16/09/2025, às 15:04, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Dedico este trabalho a minha família, minha maior referência de vida. E ao meu professor orientador pelos conselhos e incentivos que tornaram possível a conclusão desta monografia.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a introdução de veículos elétricos (EV's) e híbridos (HEV's) como alternativas para a redução dos impactos ambientais no cenário brasileiro, abordando seus componentes, funcionamento, ciclo de vida das baterias automotivas, impactos ecológicos e os desafios de implementação. O estudo parte da diferenciação entre os tipos de veículos elétricos e híbridos, como os BEV's (veículo elétrico a bateria), HEV's (veículo elétrico híbrido), PHEV's (veículo elétrico híbrido Plug-In) e MHEV's (veículo elétrico micro híbrido), destacando suas características técnicas, como a combinação de motores elétricos, baterias de alta capacidade, sistemas eletrônicos de potência e, no caso dos híbridos, a integração com motores a combustão interna. Em seguida, são analisados os impactos ambientais associados a esses veículos, desde a extração de matérias-primas até o descarte das baterias de íons de lítio (LIB). Entre os principais efeitos discutidos estão a ecotoxicidade, a acidificação, a toxicidade humana e outros danos potenciais ao meio ambiente. Como estratégias de mitigação, são exploradas técnicas de reciclagem, como pirometalurgia e hidrometalurgia, além da possibilidade de segunda vida às baterias automotivas em outras aplicações como em, como em sistemas de armazenamento de energia (ESS). O trabalho avalia o crescimento dos EV's e HEV's no Brasil, contextualizando-o com as políticas públicas vigentes, como isenções de IPVA e outros incentivos fiscais, e aborda também as políticas de gestão de resíduos em comparação com as aplicadas em outros países relevantes no contexto dos EV's e HEV's. Ao analisar a infraestrutura necessária para os desafios impostos pelo crescimento da frota de EV's e HEV's, bem como pelo fim da vida útil de suas baterias, conclui-se que um planejamento estratégico é essencial para mitigar impactos ambientais futuros.

Palavras-chave: veículos elétricos; híbridos; baterias automotivas; descarte de baterias.

ABSTRACT

The main objective of this work is to analyze the introduction of electric vehicles (EV's) and hybrids (HEV's) as alternatives for the reduction of environmental impacts in the Brazilian scenario, addressing their components, operation, life cycle of automotive batteries, ecological impacts and implementation challenges. The study starts from the differentiation between the types of electric and hybrid vehicles, such as BEV's (battery electric vehicle), HEV's (hybrid electric vehicle), PHEV's (Plug-In hybrid electric vehicle) and MHEV's (micro hybrid electric vehicle), highlighting their technical characteristics, such as the combination of electric motors, high-capacity batteries, electronic power systems and, in the case of hybrids, integration with internal combustion engines. Next, the environmental impacts associated with these vehicles are analyzed, from the extraction of raw materials to the disposal of lithium-ion batteries (LIB). Among the main effects discussed are ecotoxicity, acidification, human toxicity and other potential damage to the environment. As mitigation strategies, recycling techniques such as pyrometallurgy and hydrometallurgy are explored, in addition to the possibility of a second life for automotive batteries in other applications such as energy storage systems (ESS). The work evaluates the growth of EV's and HEV's in Brazil, contextualizing it with the current public policies, such as IPVA exemptions and other tax incentives, and also addresses the waste management policies in comparison with those applied in other relevant countries in the context of EV's and HEV's. By analyzing the infrastructure necessary for the challenges imposed by the growth of the EV and HEV fleet, as well as the end of the useful life of their batteries, it is concluded that strategic planning is essential to mitigate future environmental impacts.

Keywords: electric vehicles; hybrids; automotive batteries; battery disposal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Primeiro veículo híbrido Lohner-Porsche Mixte.....	1
Figura 2 – Veículo do Corpo de Bombeiros de Hanover 1902	2
Figura 3 – Modelos Renault Kwid.....	7
Figura 4 - Tipos de EV's e HEV's	11
Figura 5 - Veículo EV1 General Motors.....	12
Figura 6 - BYD DOLPHIN GS.....	14
Figura 7 - Toyota Prius 1ª geração 1997-2003.....	15
Figura 8 - Toyota Corolla CROSS XRX HYBRID	15
Figura 9 - BYD SONG PLUS.....	17
Figura 10 - Caoa Chery Tiggo 5X PRO HYBRID	18
Figura 11 – Transformador de energia.....	19
Figura 12 - Tipos de máquinas elétricas	20
Figura 13 - Motor elétrico BYD Dolphin GS 180ev 2024	21
Figura 14 - Bateria BYD Dolphin Ev GS 2024	24
Figura 15 - Inversor Bateria Byd Mini Dolphin	25
Figura 16 – Sistema eletrônico de potência	26
Figura 17 – Estrutura de uma bateria de íons de lítio.....	27
Figura 18 - Vida útil das baterias automotivas (EV's e HEV's)	30
Figura 19 – Ciclo de vida de baterias de EV's considerando segundo uso	31
Figura 20 - Processo de recuperação das baterias do EV	32
Figura 21 - Planta de extração de lítio no Chile.....	36
Figura 22 - Processo de mineração do Lítio.....	37
Figura 23 – Esquema resíduos de bateria	40
Figura 24 - Ilustração esquemática do processo de pirometalurgia multi etapas	42
Figura 25 - Fiat Pulse Impetus Turbo 200 Hybrid Flex 2026 (MHEV)	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de vendas de carros nos EUA	2
Tabela 2 - Informações técnicas veículos 2024	4
Tabela 3 - Vendas De Veículos Leves Eletrificados	13
Tabela 4 – Modelos de eletrificados leves mais vendidos	13
Tabela 5 – Dados técnicos Toyota 2025	16
Tabela 6 – Dados técnicos Caoa Chery Tiggo 5X PRO 2025	18
Tabela 7 – Dados de motores elétricos de veículos eletrificados	21
Tabela 8 - Dados de baterias de veículos eletrificados	23
Tabela 9 – Principais catodos para baterias de lítio, prós, contras e produtores	29
Tabela 10 - Garantia de itens especiais (BYD Dolphin/Dolphin Plus)	30
Tabela 11 - Produção e reservas minerais mundiais de lítio	35
Tabela 12 – Dados de extração de Li em salmoura	38
Tabela 13 - Resultados de impacto ambiental das LIB's em diversas categorias	44
Tabela 14 - Resultados de impacto ambiental das LIB's no aquecimento global	45
Tabela 15 - As 10 maiores empresas globais que reciclam LIB (2025)	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Emissões totais de toneladas de CO ₂ no Brasil no ano de 2023.....	5
Gráfico 2 - Vendas globais de carros elétricos (2014-2024)	12
Gráfico 3 - Participação nas vendas de veículos elétricos por tipo de cátodo.....	28
Gráfico 4 - Distribuição geográfica da cadeia global de suprimentos de baterias para EV's (2021).....	34
Gráfico 5 – Conteúdo material em diferentes ânodos e cátodos.....	39
Gráfico 6 - Quantidade de veículos na frota brasileira por tipo de combustível 2020	49
Gráfico 7 - Quantidade de veículos na frota brasileira por tipo de combustível 2025	49
Gráfico 8 - Estatísticas de Frota de Veículos por UF (eletrificados).....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABVE - Associação Brasileira do Veículo Elétrico
- ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
- ADP - *Abiotic resource depletion* - Esgotamento de recursos abióticos
- AP - *Acidification potential* - Acidificação global
- BEV - *Battery Electric Vehicle* - Veículo elétrico a bateria
- CA - Corrente alternada
- CC - Corrente contínua
- CFR - *Code of Federal Regulations* - Código de Regulamentos Federais
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- EE - Eficiência energética
- EOL - *End of life* - Fim de vida útil
- EP - *Eutrophication potential* - Potencial de eutrofização
- EPR - *Extended Producer Responsibility* - Responsabilidade estendida ao produtor
- ESS - *Energy storage system* - Sistemas de armazenamento de energia
- EV - *Electric vehicle* - Veículo elétrico
- EVC - *Electric Vehicle Company* - Empresa de veículos elétricos
- FCV - *Fuel Cell Electric Vehicle* - Veículo elétrico a célula de combustível
- FDP - *Fuel depletion potential* - Potencial de esgotamento de combustível
- FEP - *Freshwater eutrophication potential* - Potencial de eutrofização de água doce
- FWAE - *Freshwater aquatic ecotoxicity* - Ecotoxicidade aquática de água doce
- GECEX - Comitê-Executivo de Gestão
- GEE - Gases de efeito estufa
- HEV - *Hybrid Electric Vehicle* - Veículo elétrico híbrido
- HTP - *Human toxicity potential* - Potencial de toxicidade humana
- IEA - *International Energy Agency* - Agência Internacional de Energia
- ICEV - *Internal Combustion Engine Vehicle* - Veículos com motor de combustão interna
- IPI - Imposto sobre produtos industrializados
- IPVA - Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
- LIB - *Lithium-ion battery* - Bateria de íons de lítio
- MAE - *Marine aquatic ecotoxicity* - Ecotoxicidade aquática marinha
- MCI - Motor de combustão interna

MDP - *Metal depletion potential* - Potencial de esgotamento de metais

MEP - *Marine eutrophication potential* - Potencial de eutrofização marinha

MHEV - *Mild Hybrid Electric Vehicle* - Veículo Elétrico Micro Híbrido

NCBI - *National center for biotechnology information* - Centro nacional de informações sobre biotecnologia

NM VOC - *Non-methane volatile organic compounds* - Compostos orgânicos voláteis não metano

ODP - *Ozone depletion potential* - Potencial de destruição da camada de ozônio

PBEV - Programa Brasileiro de etiquetagem veicular

PHEV - *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* - Veículo elétrico híbrido Plug-In

PM - *Particulate matter* - Material particulado

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

POFP - *Photochemical ozone formation potential* - Potencial de formação de ozônio fotoquímico

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

SENATRAN - Secretaria Nacional de Trânsito

SLB - *Second life battery* - Bateria de segunda vida

SOH - *State of health* - Saúde da bateria

TAP - *Terrestrial acidification potential* - Potencial de acidificação terrestre

TE - *Terrestrial ecotoxicity* - Ecotoxicidade terrestre

TETP - *Terrestrial eutrophication potential* - Potencial de eutrofização terrestre

TIPI - Tabela de incidência do IPI

UE - União europeia

UNEP - *United Nations Environment Programme* - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change* - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

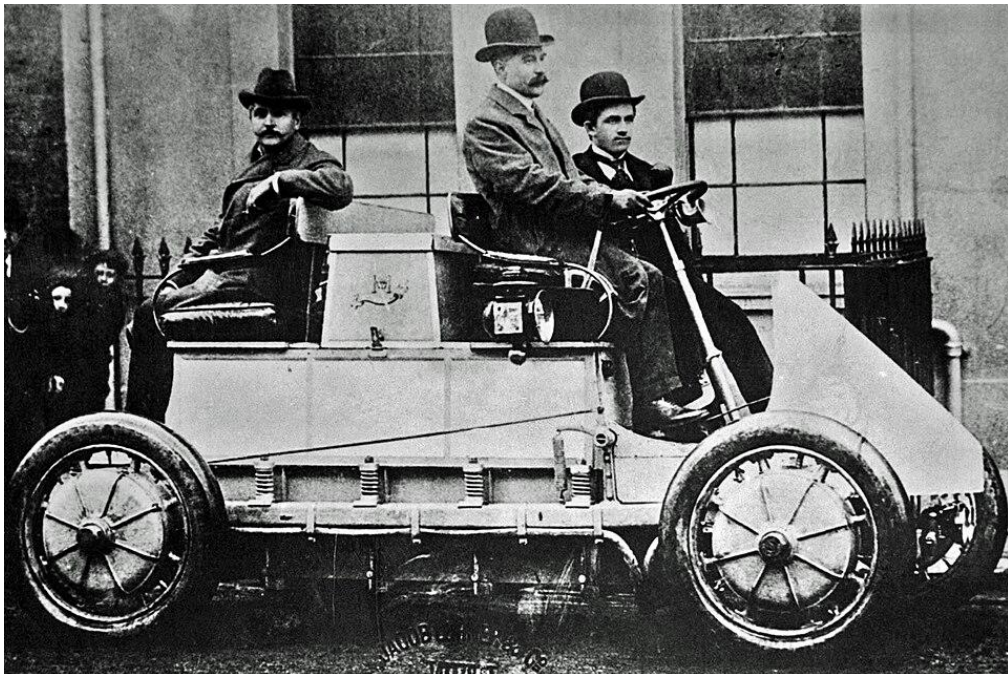
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	8
2	OBJETIVOS	9
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1	Introdução aos Veículos Híbridos e Elétricos	10
3.1.1	Definições gerais sobre EV's e HEV's	10
3.1.2	EV's alimentados a bateria (BEV)	11
3.1.3	Veículos Híbridos (HEV).....	14
3.1.4	Veículos Híbridos Plug-in (PHEV)	16
3.1.5	Veículo Elétrico Micro Híbrido (MHEV).....	17
3.1.6	Principais componentes de veículos eletrificados	19
3.1.7	Ciclo de vida de baterias de EV's	26
4	METODOLOGIA	33
5	PESQUISA EXPLORATÓRIA	34
5.1.1	Fabricação de baterias para EV's.....	34
5.1.2	Descarte de baterias de EV's	40
5.1.3	Impactos ambientais do ciclo de vida de baterias automotivas	43
5.2	Desafios, Barreiras e incentivos da implementação de EV's e HEV's 48	
5.2.1	Políticas públicas sobre baterias que afetam os EV's no cenário mundial 50	
5.2.2	Políticas públicas sobre baterias que afetam os EV's no Brasil	52
5.2.3	Tributações de EV's e HEV's no Brasil.....	54
6	DISCUSSÕES	57
6.1	Veículos elétricos	57
6.2	Impactos Ambientais ligados a bateria do EV e HEV	58
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O início do carro elétrico remonta ao século XIX, no ano de 1828 Ányos Jedlik inventou um motor elétrico e criou um protótipo de veículo de 3 rodas. No ano de 1881, Gustave Trouvé apresentou um veículo movido a baterias e andou pelas ruas de Paris, sendo assim o primeiro modelo prático de um veículo elétrico. E em 1901, Ferdinand Porsche, futuro fundador da Porsche, criou um híbrido elétrico/gasolina chamado “Lohner-Porsche Mixte”, Figura 1.

Figura 1 – Primeiro veículo híbrido Lohner-Porsche Mixte



Fonte: WESTBROOK, 2001.

A aplicação do veículo elétrico (*Electric vehicle - EV*) é revisada historicamente por Gijs Mom (2004), segundo o qual nos EUA, nos primeiros anos do século XX, os veículos movidos a gasolina eram minoria. A maioria dos carros eram movidos a vapor ou por eletricidade. Em 1996, David Kirsche em seu estudo “The electric car and the burden of History”, demonstra a situação nos EUA entre os anos de 1900 e 1905, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Número de vendas de carros nos EUA

Fonte energética	1900	1905
Eletricidade	1575	1425
Vapor	1681	1568
Gasolina	936	18699
Total	4192	21692

Fonte: KIRSCH, 1996.

É possível identificar que, no ano de 1900, os EV's e a vapor eram maioria dentre as três fontes energéticas, totalizando 3.256 unidades vendidas, em comparação com 936 carros vendidos movidos a gasolina. Porém, cinco anos depois, 18.699 veículos movidos a gasolina foram vendidos, enquanto os EV's e a vapor somaram 2.993 unidades. Caracterizando uma queda de 8% para os EV's e a vapor e um aumento de 1.897% para carros movidos a gasolina.

Em países da Europa no início do século XX, a tendência de uso dos EV's também pode ser observada. Em Berlim, entre 1907 e 1918, cerca de 20% dos táxis motorizados eram elétricos. Além disso, antes da Primeira Guerra Mundial, o Corpo de Bombeiros alemão (Figura 2) optou por carros de bombeiros elétricos em substituição às charretes e cavalos. (MOM, 2004).

Figura 2 – Veículo do Corpo de Bombeiros de Hanover 1902



Fonte: SAURE, 2025.

Nos Estados Unidos, os táxis elétricos foram introduzidos pela primeira vez pela Electric Vehicle Company (EVC) em 1899. Entre 1899 e 1902, os EV's tiveram grande popularidade no nicho de táxis. Esse entusiasmo, no entanto, desapareceu porque as baterias se mostraram frágeis, sofrendo com avarias frequentes. Além disso, a EVC envolveu-se em escândalos financeiros e jurídicos e faliu em 1903 (GEELS, p. 460, 2005).

Ainda segundo a análise de Frank Geels, existem alguns motivos para a ascensão acelerada dos veículos à gasolina nos EUA, conforme observado em:

Após 1905, novos grupos começaram a usar carros movidos a gasolina para fins comerciais, como médicos, caixeiros-viajantes e agentes de seguros. Embora as comunidades agrícolas inicialmente se opusessem aos automóveis, fazendeiros ricos gradualmente mudaram de lado e começaram a usar carros como um veículo prático para o transporte de mercadorias e pessoas. Outro nicho comercial era o táxi. Os táxis a gasolina surgiram em 1907, substituindo as carruagens puxadas por cavalos. (GEELS, p.464, 2005)

Segundo Kline (1996), o crescimento dos carros movidos a gasolina no setor rural dos Estados Unidos entre 1902 e 1907 vinculava-se a aplicações populares, como, por exemplo, a expansão das viagens no campo que necessitavam de maiores deslocamentos. Enquanto os carros a combustível tinham postos de gasolina por todo o país devido às descobertas de petróleo no Texas. Em comparação, pouquíssimos americanos fora das cidades tinham acesso a eletricidade. A consolidação dos carros no perímetro urbano é analisada por Kapstein e comentada no trecho:

Em 1905, o carro movido a gasolina já havia derrotado seus concorrentes no setor de locomoção automotiva — o vapor e a eletricidade — e estabelecera uma supremacia absoluta. No entanto, ainda havia dúvidas sobre a resistência e a confiabilidade do automóvel. Essas questões foram resolvidas de uma vez por todas com o terremoto de São Francisco em 1906. Duzentos carros particulares foram mobilizados para operações de resgate e socorro, abastecidos por quinze mil galões de gasolina doados pela Standard Oil. (KAPSTEIN, 1992)

Outro fator determinante foi a diminuição no preço dos veículos movidos a combustíveis fósseis, com as novas técnicas de produção e desenvolvimento de novos produtos, como o Ford Model T (GEELS, 2005). Além disso, a descoberta de

novas reservas de petróleo - como a de Spindletop, no Texas (EUA, 1901) - barateou o preço do barril (KAPSTEIN, 1992).

A autonomia dos modelos atuais de EV's ainda é consideravelmente menor quando comparada à das versões com motor de combustão interna (MCI), como pode ser observado na Tabela 2. O modelo Kwid, na versão a combustão, possui uma autonomia de aproximadamente 580 km, enquanto a versão elétrica, E-Kwid, tem autonomia de 185 km. Já no comparativo entre o veículo elétrico híbrido (*Hybrid Electric Vehicle* - HEV) Corolla Altis 1.8 e o Corolla Altis 2.0 a combustão, observa-se que os híbridos apresentam vantagem em termos de autonomia. No entanto, é importante considerar a diferença de motorização entre os dois modelos.

Tabela 2 - Informações técnicas veículos 2024

Versão	Tipo de propulsão	Consumo em cidade etanol/gasolina (km/l)	Capacidade do tanque (l)	Autonomia em cidade (km)
Kwid Zen 1.0	Combustão	10,8/15,3	38	581 (Gasolina)
E-Kwid INTENS	Elétrico	-	-	185
Corolla ALTIS 2.0	Combustão	8,6/12,3	50	615 (Gasolina)
Corolla ALTIS HV 1.8	Híbrido	12,8/18,5	43	795 (Gasolina)

Fonte: Adaptado de INMETRO, 2024 & RENAULT, 2025 & TOYOTA, 2025.

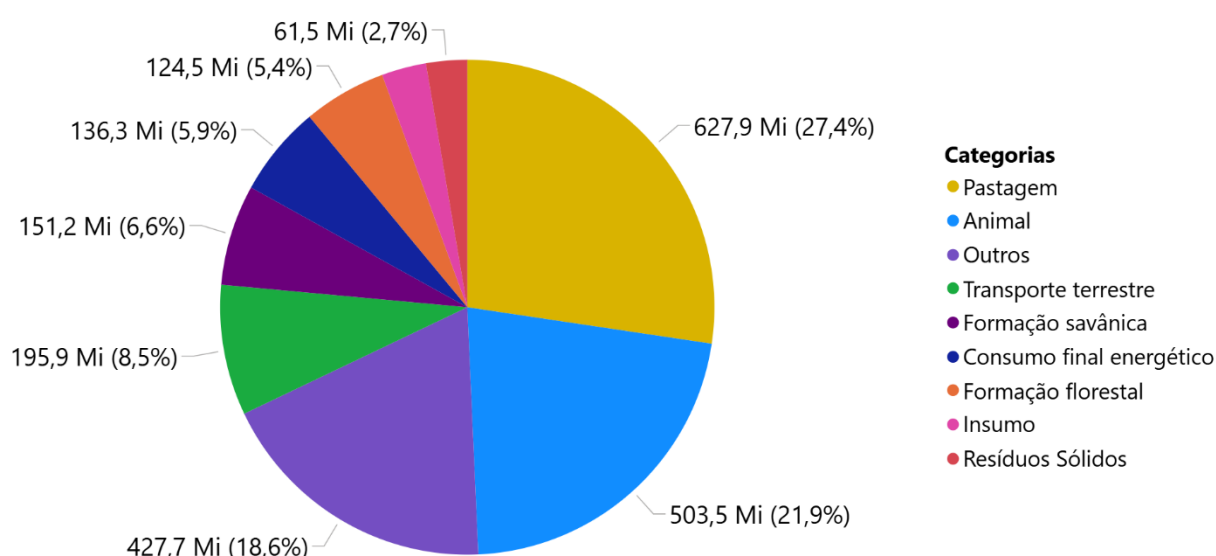
Os veículos movidos a combustão, devido à expansão da rede de abastecimento, aos interesses econômicos gerados pelas novas reservas descobertas e ao desenvolvimento de novos modelos pelas fabricantes, impulsionaram a dominância dos carros a gasolina frente aos carros, locomotivas e charretes no início do século XX. Ainda hoje, algumas dessas características permanecem em modelos atuais.

Recentemente, a atenção dada ao HEV, que funcionam com combustível e baterias elétricas, tornou o carro elétrico uma alternativa ao motor de combustão interna (MCI) e aos seus impactos ambientais: emissão de poluentes durante a queima do combustível e impacto da extração e beneficiamento do petróleo (MOM, 2004). Impulsionando assim o estudo e desenvolvimento de EV's e HEV's que se apresentam como alternativas sustentáveis e menos poluidores. Porém, o total entendimento dos impactos da produção desses veículos até o descarte dos mesmos deve ser compreendido para uma conclusão sobre o tema. Dentro dessa tendência,

os EV's e HEV's representam a mudança de perspectiva e prioridades dos consumidores para com a transição energética pois, segundo autores como Ryan Cornell (2019), esses carros combinam a eficiência dos motores elétricos, a autonomia e versatilidade do motor a combustão interna e reduzindo as emissões de poluentes e a dependência de combustíveis fósseis.

O setor de transporte terrestre no Brasil representa 8,5% das emissões brasileiras de CO₂, como pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Emissões totais de toneladas de CO₂ no Brasil no ano de 2023



Fonte: Adaptado de SEEG, 2025.

Os dados são do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). É possível compreender que os veículos terrestres não são a principal fonte geradora de CO₂ no Brasil. Contudo, para atender aos acordos e metas de redução, uma abordagem em vários pontos de geração desses gases é necessária, pois, segundo o Relatório de Lacuna de Emissões (2023), feito pela Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme - UNEP*), para que o aquecimento global seja diminuído em 2°C, é preciso reduzir a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) em 42% até o ano de 2030, demonstrando o grande desafio que é retroceder nesse processo. Esta situação cria grandes demandas para o setor de transportes que, ainda fortemente dependente de combustíveis fósseis, mas 27 dos 33 priorizaram o setor transporte para cumprir as metas de redução de emissões (STOPFER, 2021).

A adoção de EV's e HEV's no Brasil cria a expectativa de avanço rumo a uma matriz de transporte mais sustentável, em alinhamento com as metas internacionais de redução das emissões de gases de efeito estufa, das quais o Brasil é signatário, como, por exemplo, o Acordo de Paris da UNFCCC (SUGAHARA, 2022). Contudo, para resolver essa questão, é necessário entender as questões ambientais relacionadas à fabricação e descarte das baterias, além da necessidade de uma infraestrutura de recarga (QUIROGA, 2019).

Com relação a legislações Luiz Felipe Vaz traz reflexões sobre o assunto:

Os principais países do mundo vêm adotando uma série de medidas para incentivar a difusão de veículos híbridos e elétricos. Os incentivos observados são os mais variados e visam, além de tornar a solução economicamente atraente, superar, no caso dos puramente elétricos, obstáculos iniciais como a escassez de infraestrutura de abastecimento e a baixa autonomia. Ademais, benefícios não monetários, como faixas de rolagem exclusivas, estacionamento preferencial, entre outros, já estão em vigência em alguns locais e figuram como importantes diferenciais na decisão de compra do consumidor. (VAZ, 2015)

Um papel importante em qualquer economia é o setor de transportes, pois impacta no escoamento da produção, deslocamento de insumos ou mercadorias, transporte de pessoas, seja para trabalho ou lazer.

O correto entendimento do perfil da matriz de transportes de um país é um passo necessário e fundamental para o desenvolvimento de políticas públicas, pois se trata de um setor de alta demanda energética, grande impacto ambiental e causador de diversas externalidades positivas e negativas. (VAZ, 2015)

Portanto, se fez necessário compreender que além das características dos veículos as estratégias e ações por parte dos países como as leis, criação ou isenção de impostos impactam na implementação dos EV's e HEV's. O governo brasileiro no âmbito federal e estadual tem diferentes tentativas de incentivos para os donos de EV's e HEV's. Políticas de redução de impostos como, por exemplo, do IPVA são praticadas por diversos estados, cada qual com a sua peculiaridade.

Vários recursos naturais, como metais e minerais, são utilizados intensivamente nos complexos processos de fabricação de EV's e HEV's. Para garantir a comparabilidade entre EV's, HEV's e veículos a combustão interna (*Internal Combustion Engine Vehicles* - ICEV's), adota-se uma plataforma de veículo comum,

adaptável a múltiplos sistemas de propulsão. Essa abordagem alinha-se com as tendências da indústria, que prevê a produção de modelos únicos com motorizações variáveis nas próximas gerações de veículos. (HAWKINS, 2013)

O Renault Kwid (Figura 3) é um exemplo de modelo que utiliza a mesma plataforma que inclui nesse modelo a mesma carroceria, portas, sistema de freios, interior com mudanças para acomodar a bateria, o motor elétrico, e itens relacionados ao design como o para-choque e rodas.

Figura 3 – Modelos Renault Kwid

KWID OUTSIDER (ICEV)



KWID E-TECH (BEV)



Fonte: Renault, 2025

Para maximizar a eficiência fabril, é importante estudar os efeitos a médio e longo prazo, de forma a minimizar o impacto ambiental negativo e reduzir a dependência de recursos não renováveis. No caso dos EV's e HEV's as baterias e os motores elétricos são os elementos de possível fonte de contaminação, sem contar com os conjuntos comuns com os ICEV's, e desenvolver políticas que minimizem os impactos ambientais são fundamentais para atender os princípios jurídicos necessários conforme disposto por Fiorillo:

A indústria automotiva de nova energia global, no que se refere à extração do lítio, bem ambiental estratégico e fundamental para o desenvolvimento dos EV's, está submetida não só aos princípios fundamentais de nossa Carta Magna, como também aos princípios gerais da atividade econômica com destaque para os princípios da soberania e da defesa do meio ambiente. (FIORILLO, 2022)

A falta de compreensão completa em torno do ciclo de vida das baterias dos veículos eléctricos deve-se, em parte, às contínuas mudanças que estão a ser feitas para melhorar o sistema. Portanto, torna-se difícil chegar a uma conclusão definitiva sobre o assunto. Como potenciais poluidoras do solo e da água, as baterias podem anular os impactos positivos da mobilidade eléctrica.

Neste trabalho, exploraremos os principais aspectos dos estudos de EV's e HEV's, destacando sua importância, funcionamento, impactos ambientais, económicos e mudanças na legislação, trazendo reflexões sobre os reais impactos e benefícios que a implementação que essa mudança energética traz para a mitigação das mudanças climáticas, montando um estudo abrangente e que traga esclarecimentos sobre as contribuições para um futuro mais sustentável, economicamente viável e socialmente justo.

1.1 Justificativa

Para avançarmos em direção a um futuro mais verde, os veículos no cenário do transporte podem ser uma solução para reduzir a pegada de carbono e impactos ambientais a curto e longo prazo, uma vez que, o EV e HEV geram menos emissões locais de CO₂ e permitem o uso de fontes de energia renováveis, o que acarretou incentivos governamentais a pesquisas relacionadas a essas tecnologias (CHRISPIM, 2019). Contudo, temos de enfrentar uma questão fundamental sobre as consequências desconhecidas da implantação, produção e descarte de veículos eléctricos e híbridos no ambiente. Uma compreensão abrangente destas ramificações é imperativa para desenvolver planos eficientes para reduzir o impacto desta transformação tecnológica na natureza.

2 OBJETIVOS

Analisar, por meio de revisão bibliográfica e análise comparativa, a introdução de veículos elétricos (EV's) e híbridos (HEV's) como alternativas para a mitigação dos impactos ambientais relacionados ao setor automotivo, com ênfase na produção, uso e descarte de baterias.

Específicos:

- 1 – Entender as diferenças entre EV's e HEV's e seus tipos;
- 2 – Analisar o ciclo de vida das baterias utilizadas em EV's e HEV's;
- 3 – Estudar os impactos ambientais da produção e descarte de baterias para os EV's e HEV's;
- 4 – Entender sobre a aplicação da segunda vida das baterias dos EV's e HEV's;
- 5 – Esclarecer que se trata de legislações ambientais e tributárias, tanto no Brasil quanto em países de referência.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa revisão bibliográfica aborda os conceitos fundamentais dos EV's e HEV's, ressaltando as características principais, os impactos ambientais associados à sua fabricação, ciclo de vida das baterias automotivas, bem como as barreiras e incentivos que esses veículos apresentam no cenário global e regional.

3.1 Introdução aos Veículos Híbridos e Elétricos

3.1.1 Definições gerais sobre EV's e HEV's

EV's movidos a bateria utilizam um ou mais motores elétricos para propulsão, com baterias para armazenamento de eletricidade. A energia contida nas baterias fornece toda a energia motriz e auxiliar para o completo funcionamento do veículo.

As baterias são recarregadas a partir da eletricidade da rede e da recuperação de energia de frenagem, e também, potencialmente, de fontes não ligadas à rede, como painéis fotovoltaicos em centros de recarga. (IEA, 2011)

Os HEV's são definidos por possuírem “duas fontes de energia que se complementam: em HEV's híbridos, as duas fontes são o tanque de combustível e um sistema de armazenamento de energia elétrica.” (SERRAO, 2011). A principal diferença dentre os tipos de EV's e HEV's é ligada a motorização e fonte energética, sendo importante lembrar que os motores elétricos veiculares são acionados por energia armazenada em células de baterias, fixadas no veículo (MINH; QUANG; PHAM, 2021). Assim como as baterias são a única fonte energética para as versões exclusivamente elétricas essas baterias são maiores que as utilizadas por modelos híbridos.

Existem diferentes tipos de veículo elétrico e híbrido (Figura 4):

BEV - *Battery Electric Vehicle* - Veículo elétrico alimentado a bateria;

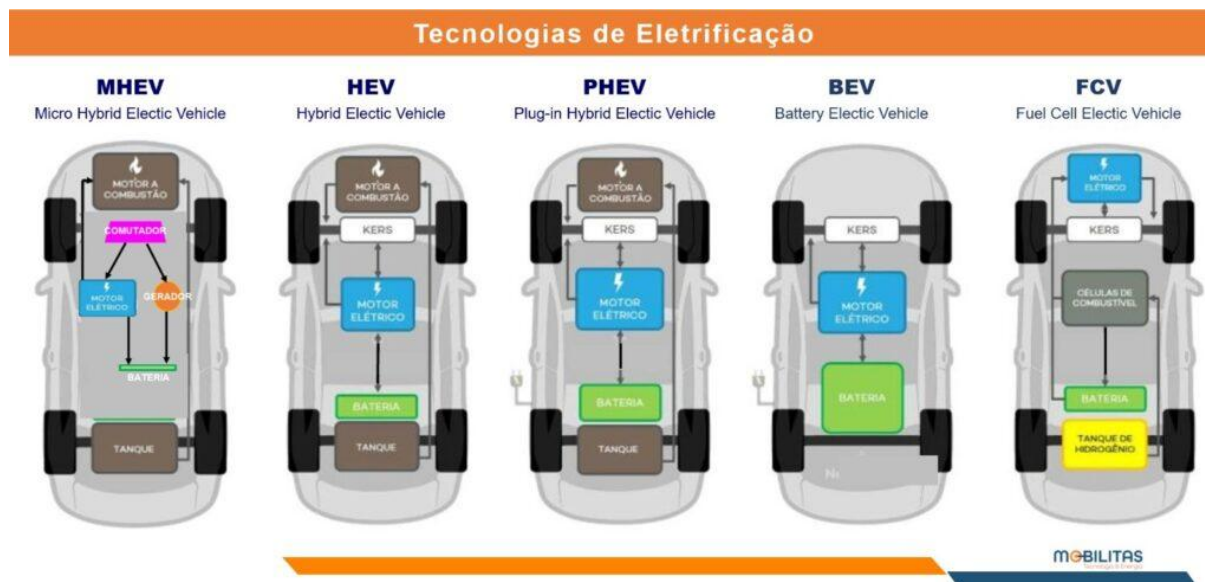
HEV - *Hybrid Electric Vehicle* - Veículo elétrico híbrido;

PHEV - *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* - Veículo elétrico híbrido Plug-In;

MHEV - *Mild Hybrid Electric Vehicle* - Veículo Elétrico Micro Híbrido;

FCV – *Fuel Cell Electric Vehicle* - Veículo elétrico a célula de combustível.

Figura 4 - Tipos de EV's e HEV's



Fonte: ABVE, 2025.

Os veículos do tipo FCV não serão abordados nesse trabalho.

3.1.2 EV's alimentados a bateria (BEV)

A retomada dos carros elétricos ocorre na década de 70, quando, por crescentes preocupações dos impactos da industrialização, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em Estocolmo em 1972 (KIRSCH, 1996), marcando o início da proteção ambiental de forma coordenada a nível internacional. Fazendo com que as montadoras voltassem a pensar no desenvolvimento de EV's. Outro fator que favoreceu o retorno do EV foi a crise do petróleo como aponta Curtis Anderson em:

A escassez de petróleo em 1973–74 levou o governo federal a intervir na formulação de políticas energéticas, instituindo controles de preços. Isso resultou em financiamento para projetos de energia alternativa e renovou o interesse em veículos elétricos e híbridos. (ANDERSON, 2010)

A face mais evidente da evolução elétrica são os EV's a bateria, ou BEV que são compostos por uma ou mais baterias, máquina elétrica, que funciona como motor

e pode propelir o veículo utilizando apenas a eletricidade como fonte energética (MAX, 2020). Em 1996 a General Motors produziu o modelo EV1 (Figura 5), sendo o primeiro carro híbrido da montadora norte americana.

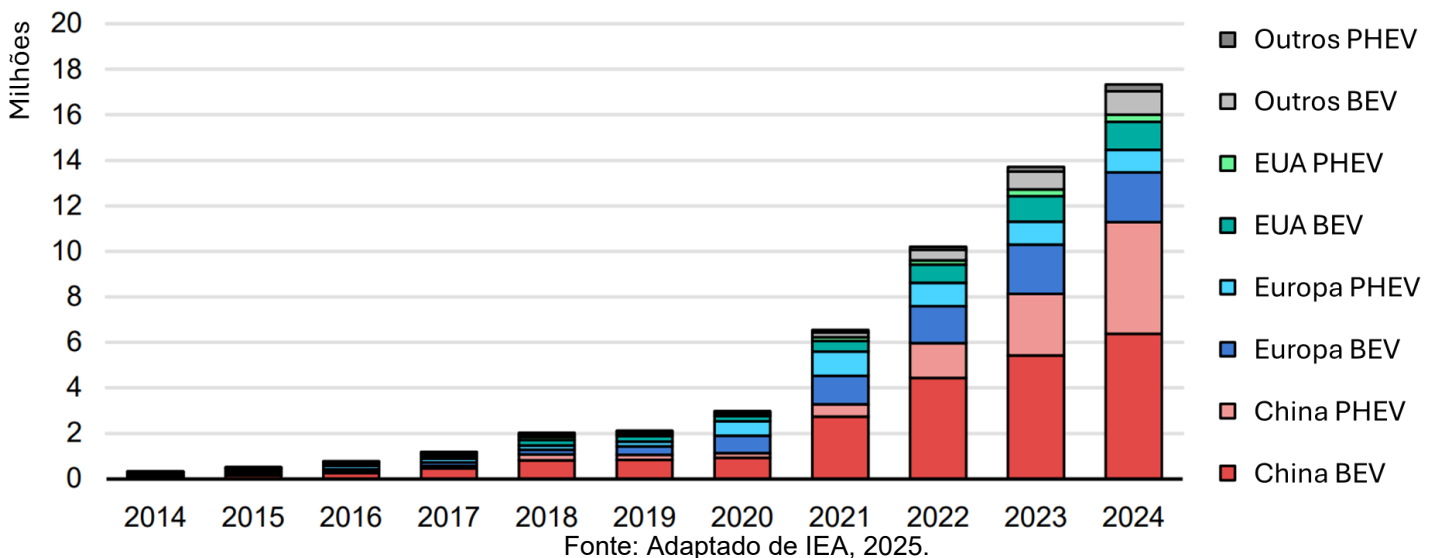
Figura 5 - Veículo EV1 General Motors



Fonte: INSIDEEV'S, 2022.

O crescimento no número de vendas de EV's pode ser observado no Gráfico 2, referente ao período entre 2014 e 2024. Nesse intervalo, percebe-se uma evolução significativa: as vendas, que em 2014 representavam menos de 1 milhão de veículos, atingiram quase 18 milhões de unidades em 2024 em todo o mundo.

Gráfico 2 - Vendas globais de carros elétricos (2014-2024)



Os BEV's, estão ganhando popularidade devido à sua condução silenciosa e eficiente e à sua redução das emissões locais. Em 2024 no Brasil foram vendidos 61.615 veículos BEV conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Vendas De Veículos Leves Eletrificados

VENDAS DE VEÍCULOS LEVES ELETRIFICADOS POR TECNOLOGIA NO BRASIL

Mês/Ano	BEV	PHEV	HEV	HEV FLEX	MHEV	MHEV 12V	MHEV 48V	Total
jan/24	4.358	3.910	1.251	1.593	914	-	-	12.026
fev/24	3.639	3.594	869	1.504	845	-	-	10.451
mar/24	6.137	3.128	1.221	2.020	1.107	-	-	13.613
abr/24	6.705	3.735	1.454	2.082	1.230	-	-	15.206
mai/24	5.175	3.882	1.360	2.052	1.143	-	-	13.612
jun/24	5.190	5.047	1.239	1.736	1.184	-	-	14.396
jul/24	4.703	6.660	976	1.707	1.266	-	-	15.312
ago/24	5.115	5.781	1.323	1.604	844	-	-	14.667
set/24	4.699	4.869	1.235	1.540	922	-	-	13.265
out/24	6.109	5.961	1.391	1.606	966	-	-	16.033
nov/24	5.417	6.922	1.330	1.556	1.918	-	-	17.143
dez/24	4.368	10.521	1.622	1.426	3.697	-	-	21.634
Total	61.615	64.010	15.271	20.426	16.036	0	0	177.358

Fonte: Adaptado de ABVE, 2025

Destaque para marcas como a BYD, GWM e Toyota, que juntas compuseram o ranking dos 10 carros leves mais vendidos do primeiro trimestre de 2024 (Tabela 4).

Tabela 4 – Modelos de eletrificados leves mais vendidos

ELETRIFICADOS LEVES NO BRASIL - 10 MODELOS MAIS VENDIDOS			
RANKING	MODELO	TECNOLOGIA	1ºTRI/24
1º	I/BYD SONG PLUS GS DM	PHEV	4.869
2º	I/BYD DOLPHIN GS 180EV	BEV	4.258
3º	TOYOTA/CCROSS XRX HYBRID	HEV FLEX	2.847
4º	I/BYD DOLPHIN MINI GS EV	BEV	2.494
5º	I/GWM HAVAL H6 PREM HEV	HEV	1.564
6º	I/BYD SEAL AWD GS 590EV	BEV	1.417
7º	I/GWM HAVAL H6 GT	PHEV	1.153
8º	I/GWM ORA 03 SKIN BEV48	BEV	1.142
9º	I/GWM HAVAL H6 PREM PHEV	PHEV	1.100

O modelo BEV mais vendido é o BYD Dolphin GS (Figura 6), um hatch compacto de entrada, focado na acessibilidade ao mercado de EVs. A versão 2024 é equipada com uma bateria de 44,9 kWh e, no Brasil, tem valor a partir de R\$139.000,00 (BYD, 2025), com autonomia declarada de 291 km (INMETRO, 2024). Em 2025, as versões BYD Dolphin Mini GS EV e BYD Dolphin Plus 310EV possuem baterias de 38 kWh e 60,48 kWh, e autônominas de 280 km e 330 km, respectivamente (INMETRO, 2025).

Figura 6 - BYD DOLPHIN GS



Fonte: BYD, 2025

3.1.3 Veículos Híbridos (HEV)

Os HEV's, ou Veículos Híbridos, são um exemplo de uma transição gradual entre motores convencionais e eletrificação completa. Os HEV's, equipados com motores a combustão interna e motores elétricos, podem operar simultaneamente com ambos os tipos de energia. A energia cinética é transformada em eletricidade durante a desaceleração e frenagem, recarregando a bateria, sendo essa a única fonte de energia para ela.

Em 1997 a Toyota Motors Corporation iniciou a produção do Prius, seu primeiro modelo elétrico híbrido (Figura 7) .

Figura 7 - Toyota Prius 1ª geração 1997-2003



Fonte: OILINCAR, 2013.

Na Tabela 4 é possível identificar o Toyota Corolla CROSS XRX HYBRID (Figura 8) como sendo o 3º carro leve mais vendido, 2847 unidades vendidas, com um valor inicial de R\$219.000,00. Esse modelo é um SUV compacto que combina um motor a combustão com um motor elétrico e utilizando a tecnologia híbrida flex da Toyota e não pode ser carregado por fontes externas. O carregamento da bateria é feito exclusivamente através da frenagem regenerativa e do motor a combustão, as rodas acionam o motor elétrico (motor de tração) como um gerador de potência e a bateria híbrida (bateria de tração) é, por sua vez, recarregada. A versão 2024 é equipada com uma bateria de 1,3 kWh. (TOYOTA, 2025).

Figura 8 - Toyota Corolla CROSS XRX HYBRID



Fonte: TOYOTA, 2025.

Para efeito comparativo (Tabela 5) entre as versões HEV e ICEV, considerando o uso de gasolina: na rodagem em cidade, a versão HEV (Corolla Cross XR Hybrid 1.8) apresenta autonomia de aproximadamente 597 km, enquanto a versão ICEV (Corolla Cross XR 2.0) tem autonomia calculada de 526 km. Já na estrada, a mesma versão HEV alcança cerca de 504 km, contra 611 km da ICEV. Assim, verifica-se que os modelos HEV apresentam melhor desempenho em percursos urbanos quando comparados a deslocamentos em estradas. Outro fator a se considerar é a motorização desses veículos que explica em parte o consumo superior do ICEV.

Tabela 5 – Dados técnicos Toyota 2025

Versão	Consumo (Gasolina)		Consumo (Etanol)		Capacidade do tanque (l)
	Cidade (km/l)	Estrada (km/l)	Cidade (km/l)	Estrada (km/l)	
Corolla Cross XR, XRE e GRS 2.0	11,2	13	7,6	8,8	47
Corolla Cross XR Hybrid e XRV Hybrid 1.8	16,6	14	11,6	9,9	36
Corolla ALTIS 2.0	11,9	14,5	8	10	50
Corolla ALTIS HV 1.8	17,5	15,2	12,5	10,7	43

Fonte: Adaptado de INMETRO, 2025 & TOYOTA, 2025.

Como resultado dessa versatilidade, os HEV's podem viajar mais longe em comparação com os BEV's, ao mesmo tempo em que reduzem as emissões e o consumo de combustível se comparados aos ICEV's.

3.1.4 Veículos Híbridos Plug-in (PHEV)

Os veículos híbridos plug-in, também conhecidos como PHEV's, oferecem, além do método de carregamento da bateria através da frenagem, a possibilidade de carregar suas baterias diretamente na rede elétrica por pontos de recarga, instalados no próprio domicílio ou em locais públicos. Os PHEV's oferecem mais flexibilidade, permitindo que os motoristas realizem percursos curtos apenas com eletricidade, pois

têm mais autonomia elétrica do que os HEV's comuns, e para maiores percursos o motor elétrico trabalha concomitantemente com o MCI.

Para aqueles que ainda têm preocupações com a infraestrutura de recarga, esta modalidade combina a eficiência dos motores elétricos com a longevidade dos motores a combustão. O modelo PHEV mais vendido do primeiro trimestre de 2024 é BYD SONG PLUS (Figura 9), um SUV híbrido que no Brasil é vendido a partir de R\$249.000,00. A versão 2024 é equipada com uma bateria de 18,3 kWh (BYD, 2025).

Figura 9 - BYD SONG PLUS



Fonte: BYD, 2025.

3.1.5 Veículo Elétrico Micro Híbrido (MHEV)

O veículo elétrico micro híbrido combina um MCI com um sistema elétrico de baixa potência. O motor elétrico, não tem capacidade de tracionar o veículo por si só, atua apenas como auxílio ao motor a combustão, proporcionando, redução do consumo de combustível e diminuição das emissões de poluentes como o CO₂ (Tabela 6). Geralmente, esse sistema é acionado durante a aceleração inicial do veículo o que explica o ganho de autonomia de combustível quando o deslocamento é na cidade, passando de 6,5 km/l na versão ICEV para 8,1 km/l na versão MHEV com a utilização de Etanol. Assim como nos outros modelos elétricos e híbridos a

bateria é recarregada por regeneração de energia durante a frenagem e pelo motor a combustão (ABVE, 2025).

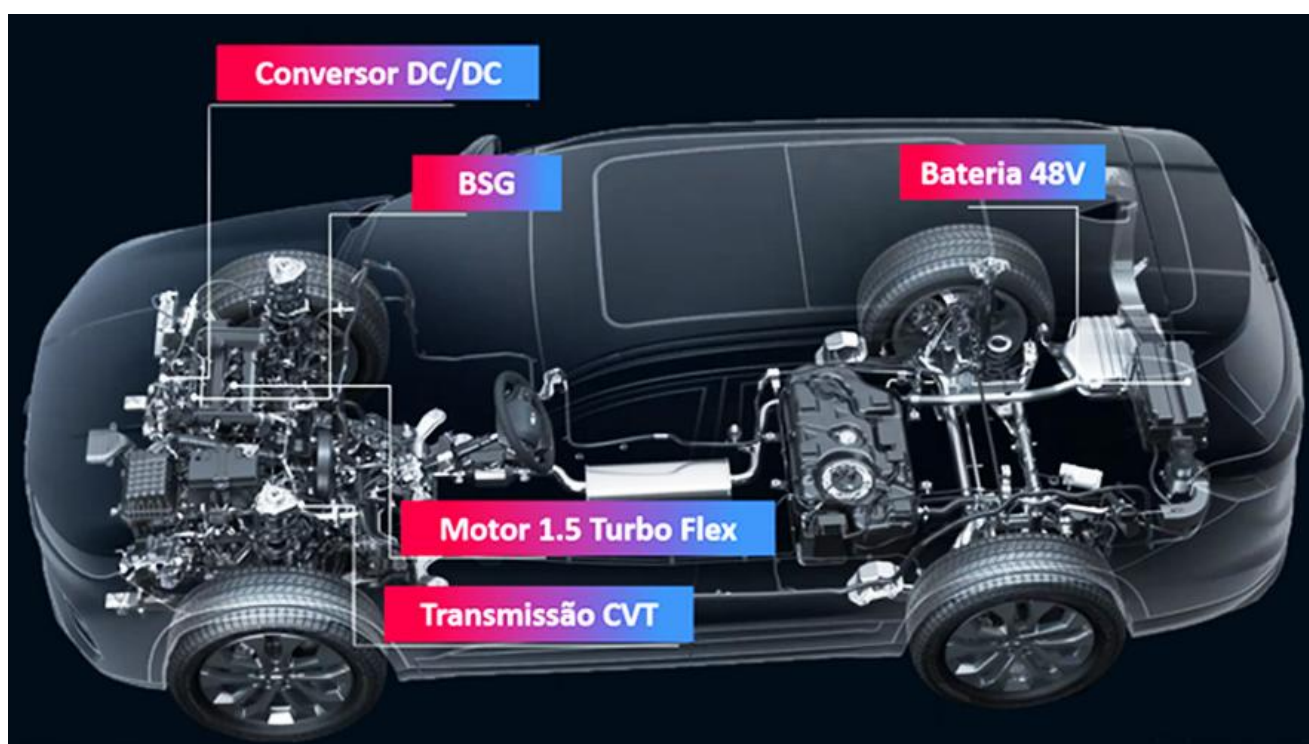
Tabela 6 – Dados técnicos Caoa Chery Tiggo 5X PRO 2025

Versão	Tecnologia	Consumo (Etanol)		Consumo (Gasolina)		Gás Efeito Estufa CO ₂ fóssil (g/km)
		Cidade (km/l)	Estrada (km/l)	Cidade (km/l)	Estrada (km/l)	
TIGGO 5X PRO HA 1.5T	MHEV	8,1	8,5	11,4	11,8	7,6
TIGGO 5X PRO 1.5T	ICEV	6,5	8,4	10	12,1	11,6

Fonte: Adaptado de INMETRO, 2025.

O MHEV se trata de um sistema de menor escala dos veículos eletrificados, a Figura 10 demonstra essa tecnologia no modelo Caoa Chery Tiggo 5X PRO HYBRID, essa versão utiliza sistema híbrido 48v de 0,35 kWh, baseado na troca do alternador tradicional por um gerador capaz de gerar energia para carregar o sistema e fornecer torque e potência adicionais ao motor de combustão quando solicitado, auxiliando na movimentação do veículo (CAOACHERRY, 2025).

Figura 10 - Caoa Chery Tiggo 5X PRO HYBRID



Fonte: CAOACHERRY, 2025.

3.1.6 Principais componentes de veículos eletrificados

3.1.6.1 Máquina elétrica

Segundo Max (2020) as máquinas elétricas podem ser divididas em 2 tipos, ambas funcionam pelo princípio da indução eletromagnética. O primeiro grupo são aquelas máquinas elétricas estáticas, ou seja, durante o funcionamento não apresentam nenhuma parte em movimento como por exemplo os transformadores de energia (Figura 11).

Figura 11 – Transformador de energia



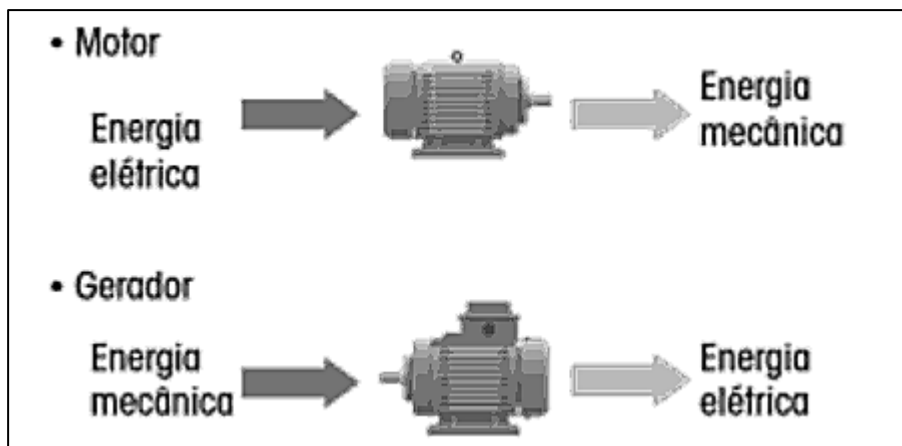
Fonte: WISE, 2025

Já o segundo grupo são as máquinas elétricas rotativas que contam com partes móveis como por exemplo os motores e geradores, componentes fundamentais do EV's e HEV's.

Máquinas elétricas rotativas

Motores e geradores são os exemplos de máquinas elétricas rotativas, sendo a principal diferença entre essas duas máquinas a entrada e saída de energia conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12 - Tipos de máquinas elétricas



Fonte: SANTOS, 2020.

Os motores elétricos convertem energia elétrica em energia mecânica para realizar trabalho. Dessa maneira os EV's e HEV's utilizam a energia armazenada nas baterias para mover as rodas e por consequência o veículo.

Essa conversão é baseada na interação entre campos magnéticos gerados por correntes elétricas e a força de Lorentz. (SCHIEBER, 1986)

O modelo BYD Dolphin GS 180ev possui um motor com 95 cv do tipo elétrico síncrono de ímã permanente (PMSM) é um tipo de motor elétrico que utiliza ímãs permanentes no rotor para criar um campo magnético (Figura 13).

Figura 13 - Motor elétrico BYD Dolphin GS 180ev 2024



Fonte: LUCHESEI, 2025.

As potências e torques dos motores variam de acordo com a tecnologia aplicada em cada modelo e as características de cada veículo. Na Tabela 7 é possível verificar os motores utilizados em alguns dos carros citados anteriormente.

Tabela 7 – Dados de motores elétricos de veículos eletrificados

Versão	Marca	Tecnologia	Motor elétrico		
			Motor	Potência (cv)	Torque (kgf.m)
DOLPHIN GS 180EV	BYD	BEV	KTZ33X26S-A	95 cv	18,4 Kgf.m
Corolla Cross XRX Hybrid e XRV Hybrid 1.8 Automático	Toyota	HEV	MG1 e MG2	72 cv	16,6 Kgf.m
SONG PLUS GS	BYD	PHEV	DM-i PHEV	197 cv	30,6 Kgf.m
Tiggo 5x PRO	Caoa Cherry	MHEV	-	3 cv	-

Fonte: BYD, 2025 & TOYOTA, 2025 & CAO A CHERRY, 2025.

Nesse comparativo é possível identificar que as características dos motores são diferentes de acordo com cada versão, com um ponto de atenção a baixa potência no veículo MHEV devido ao fato de que essa tecnologia serve como auxílio ao MCI e não é capaz de movimentar o carro por conta própria (CAOA CHERRY, 2025).

Os geradores, por outro lado, convertem energia mecânica em energia elétrica. Um gerador típico possui uma bobina de fio condutor girando em um campo magnético.

No caso dos veículos elétricos o motor elétrico atua como propulsor para o veículo, consumindo a energia da bateria. Sistema regenerativos integrados à frenagem de EV's e HEV's, devolve parcela da energia elétrica aumentando a eficiência energética (FRACALOSSI, 2021). Quando o pedal de freio é acionado o motor elétrico utiliza o torque das rodas para recarregar a bateria do carro, atuando como um gerador, como disposto por Islameka (2023) em:

A frenagem regenerativa é um método para captar energia elétrica a partir do mecanismo de frenagem de veículos elétricos. Diferentemente da frenagem mecânica, que converte a energia do movimento do veículo em energia de atrito e calor, a frenagem regenerativa permite que um motor elétrico funcione como um gerador capaz de absorver a energia do movimento do veículo e transformá-la em energia elétrica quando o veículo está desacelerando.

3.1.6.2 *Armazenador de energia*

Um armazenador tem a capacidade de acumular energia para uso posterior no processo de propulsão, como por exemplo as baterias e os supercapacitores,

Uma bateria é um acumulador, que transforma energia química em energia elétrica e vice-versa, normalmente por meio de uma reação de oxirredução. (Castro, 2013)

Para os veículos automotivos HEV, PHEV, MHEV e ICEV utilizam baterias de chumbo-ácido nos sistemas auxiliares dos veículos de passeio como na assistência de partida e como fonte de energia para a multimídia e afins (DARMAWAN, 2017). Contudo para os BEV's e PHEV's são necessárias baterias com maior capacidade, Ariel Rosenman acrescenta que,

A crescente confiabilidade das baterias de íons de lítio as torna candidatas naturais como fontes de energia para EV's. No entanto, sua densidade energética atual, que pode atingir uma média de 200 Wh/kg em cada célula, limita a possível autonomia de carros elétricos movidos por baterias de íons de lítio. (Rosenman, 2015)

Outro ponto relevante sobre as baterias é relacionado a desgaste da utilização uma vez que ocorrem reações químicas que degradam os materiais internos das baterias em cada ciclo de carga e descarga.

Avaliar a degradação da bateria de um EV é complexo devido à variabilidade das condições de funcionamento da bateria. A temperatura da bateria é influenciada por múltiplos fatores, incluindo radiação solar, temperatura ambiente, calor gerado durante o carregamento ou descarregamento e o sistema de gerenciamento térmico da bateria. Além disso, a distância de descarga de energia, a entrada/saída de corrente e o calor gerado pela bateria são determinados por padrões de condução dos EV's, como distância e frequência de viagem, aceleração, velocidade, inclinação da estrada etc. (WANG, 2016)

Na Tabela 8 são demonstradas algumas das baterias utilizadas nos veículos citados anteriormente.

Tabela 8 - Dados de baterias de veículos eletrificados

Versão	Marca	Tecnologia	Capacidade da bateria (kWh)	Autonomia no modo Elétrico (km)
DOLPHIN GS 180EV	BYD	BEV	44,9 kWh	291 km
Corolla Cross XRX Hybrid e XRV Hybrid 1.8	Toyota	HEV	1,3 kWh	-
SONG PLUS GS	BYD	PHEV	18,3 kWh	68 km
Tiggo 5x PRO	Caoa Cherry	MHEV	0,35 kWh	-

Fonte: BYD, 2025 & TOYOTA, 2025 & CAO CHERRY, 2025 & PBEV, 2025.

É possível identificar que os modelos BEV e PHEV são os com baterias de maior capacidade em kWh, por terem maior autonomia elétrica. As versões HEV e MHEV têm baterias de menor capacidade, em comparativo a bateria do veículo MHEV tem 0,35 kWh e o BEV tem 44,9 kWh, quase 130x mais capacidade.

Figura 14 - Bateria BYD Dolphin Ev GS 2024



Fonte: LUCHESI, 2025.

A Figura 14 mostra a bateria utilizada no BYD Dolphin GS 180EV, essa bateria ocupa grande parte do pavimento central e anterior do veículo (LUCHESI, 2025).

3.1.6.3 Eletrônica de potência

A eletrônica de potência trata aplicação de dispositivos eletrônicos para o controle e conversão de energia elétrica. Os inversores são necessários para a conversão de energia, para transformar corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). Isso é essencial para sistemas de energia eletrônicos, a Figura 15 apresenta um inversor utilizado no BYD Mini Dolphin. O retificador faz o contrário, convertendo a corrente alternada em contínua. Isso os torna úteis em fontes de alimentação e eletrônica de consumo.

Figura 15 - Inversor Bateria Byd Mini Dolphin

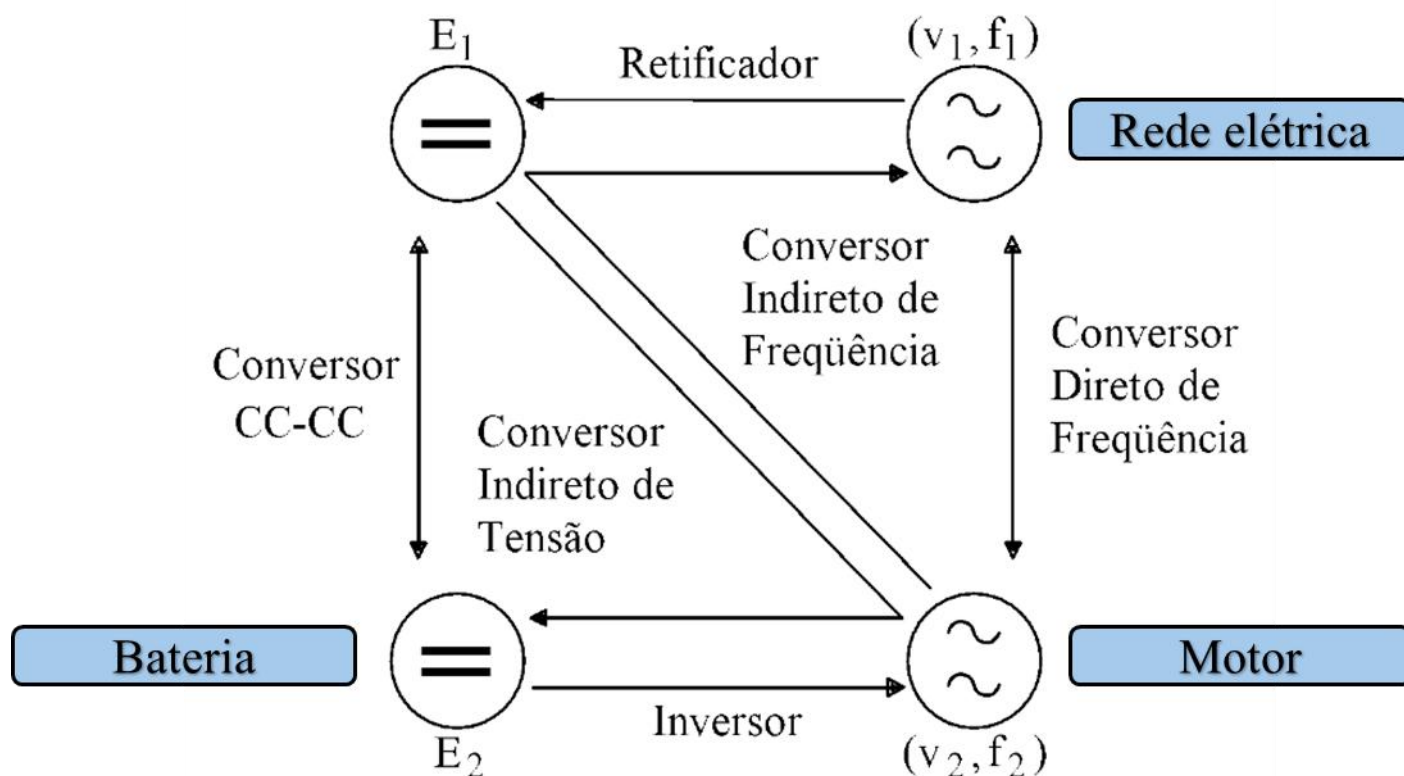


Fonte: LUCHESI, 2025.

Os dispositivos de comutação rápida permitem controle preciso da potência, permitindo mudanças dinâmicas na magnitude e na forma da corrente. Aplicações como sistemas de tração elétrica e fontes de alimentação reguladas requerem essa capacidade de controle. Esses componentes são capazes de atender as possíveis necessidades do sistema, alterando o tipo da corrente, o nível de tensão da CC, a estabilidade ou não da CA para que cada componente do carregamento a movimentação do veículo.

Em um veículo elétrico, a energia da rede elétrica (CA) passa por um processo de retificação e correção do fator de potência para ser convertida em CC e armazenada na bateria, com o auxílio de um conversor CC/CC que ajusta a tensão conforme necessário. Durante a condução, um inversor transforma a energia CC da bateria em CA trifásica para alimentar o motor de tração, enquanto o sistema de frenagem regenerativa converte a energia cinética de volta em CC, recarregando parcialmente a bateria. Além disso, conversores CC/CC auxiliares fornecem energia em tensões mais baixas para os sistemas do veículo. (SANTOS, 2020).

Figura 16 – Sistema eletrônico de potência



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2020.

O esquema apresentado na Figura 16 mostra um sistema eletrônico de potência genérico, com as possíveis conversões, bem como o posicionamento do motor, da bateria e da entrada de energia pela rede elétrica.

3.1.7 Ciclo de vida de baterias de EV's

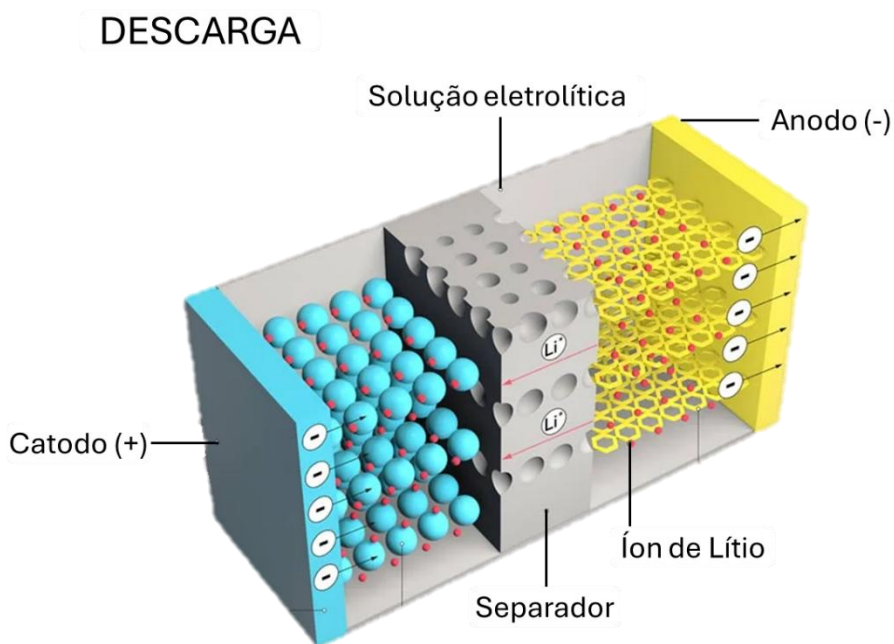
As baterias são essenciais para o funcionamento dos EV's porque armazenam e fornecem energia para impulsionar o veículo. O ciclo de vida das baterias dos EV's é complexo e começa desde a extração mineral até a forma de descarte. Com destaque para a bateria de íons de lítio (LIB) como demonstrados por Muratalla em:

O lítio, um recurso essencial na indústria de veículos elétricos, desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das baterias de íons de lítio (LIB's), visto que estas se beneficiam significativamente das propriedades únicas do lítio. Sua alta densidade energética e a capacidade de permanecer carregada por longos

períodos fazem das LIB's o núcleo da tecnologia de armazenamento de energia em veículos elétricos [...]. Portanto, melhorias nessa tecnologia ainda são exploradas e desenvolvidas. Por exemplo, as baterias de lítio-enxofre – capazes de armazenar mais energia do que as tradicionais de íons de lítio – são vistas como um passo significativo rumo a uma maior eficiência energética no futuro. (MURATALLA, 2024)

As baterias de lítio (Li) apresentam 5 componentes estruturais básicos para as baterias com o princípio ácido: cátodo, ânodo, separador, solução eletrolítica e um estojo para armazenar os componentes. Baterias Li-ion, como diversas outras baterias, apresentam também uma estrutura de segurança (LOWE, 2010). A Figura 17 mostra um esquema de uma LIB durante o processo de descarga por uso do veículo.

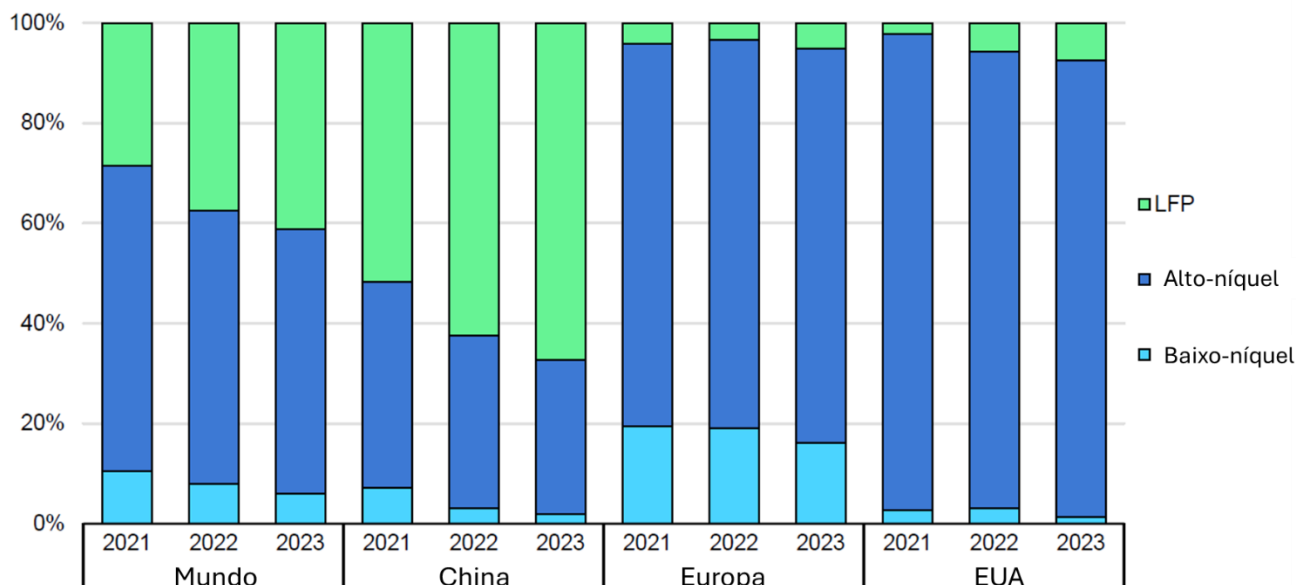
Figura 17 – Estrutura de uma bateria de íons de lítio



Fonte: Adaptado de KNAUF INDUSTRIES, 2020.

O cátodo a ser utilizado varia de acordo com os materiais e técnicas escolhidas por cada fabricante, o Gráfico 3 apresenta a participação de mercado dos três grupos de cátodos utilizados nos EV's.

Gráfico 3 - Participação nas vendas de veículos elétricos por tipo de cátodo



Fonte: IEA, 2024

O cátodo de fosfato de ferro-lítio (LFP) é utilizado nas baterias de íons de lítio principalmente na China e possui lítio (Li), ferro (Fe) e fósforo (P) no material catódico. As de “baixo-níquel” incluem a NMC 333, NMC442 e NMC532 têm a menor participação nas vendas ao redor do mundo. Cátodos com “alto-níquel” incluem a NMC622, NMC721, NMC811, NCA, NMCA dentre outros.

Essas nomenclaturas indicam o conteúdo do cátodo, no caso do NMC622 indica que o catodo é composto de 60% níquel (Ni), 20% manganês (Mn) e 20% cobalto (Co). Os cátodos NCA são compostos por níquel (Ni), cobalto (Co) e alumínio (Al). E os cátodos NMCA são formados pelos elementos níquel (Ni), manganês (Mn), cobalto (Co) e alumínio (Al) (IEA, 2024).

Cada material para cátodo tem as suas características próprias que são consideradas e escolhidas conforme a necessidade de cada projeto. Na Tabela 9 temos alguns dos compostos mais comuns utilizados como cátodo e seus prós e contras.

Tabela 9 – Principais catodos para baterias de lítio, prós, contras e produtores

Tipos de Catodos	Positivos	Negativos	Fabricantes
Níquel, cobalto e alumínio (NCA)	Densidade energética Alta energia	Segurança Custo Vida útil Range de carregamento	JCI/Saft PEVE AESC
Fosfato de ferro (LFP)	Segurança Vida útil Range de carregamento Custo de matéria prima	Temperatura de trabalho baixa Custo do processo	A123 BYD JCI/Saft
Níquel, manganês e cobalto (NMC)	Densidade energética Range de carregamento	Segurança Custo	PEVE, Hitachi, Sanyo, LG Chem, Samsung

Fonte: Adaptado de LOWE, 2010

A vida útil inicial de uma bateria elétrica em aplicações automotivas é marcada por variados padrões de condução, temperaturas operacionais e taxas de carregamento, o que torna difícil prever como a bateria se deteriora (KNOWLES, 2014 & WANG, 2016).

A utilização das baterias em EV's geralmente duram de 5 a 8 anos, ao longo desse tempo, as baterias desgastam lentamente ao passar por ciclos de carga e descarga. E ao se desgastarem sua utilização é comprometida nos EV's e HEV's, como é descrito em:

Uma vez que as baterias EV atingiram 70-80% de seu valor nominal capacidade (kWh), o seu papel como baterias de EV terminou. A principal razão é que utilização dessa bateria resultará em menor quilometragem e velocidade. A porcentagem de capacidade residual representa a saúde da bateria (State of health - SOH). (HARAM, 2021)

Estima-se que essa degradação ocorra ao equivalente a 160.000 km de deslocamento a depender do perfil do trajeto e qualidade de fabricação (HARAM, 2021).

As fabricantes de carros elétricos no Brasil fornecem garantias para as baterias e motores elétricos alinhadas com as informações descritas anteriormente, conforme apresentado na Tabela 10. O modelo BYD Dolphin, por exemplo, oferece garantia de

8 anos para suas baterias, período durante o qual a capacidade de carga não deve ser inferior a 60% da capacidade original.

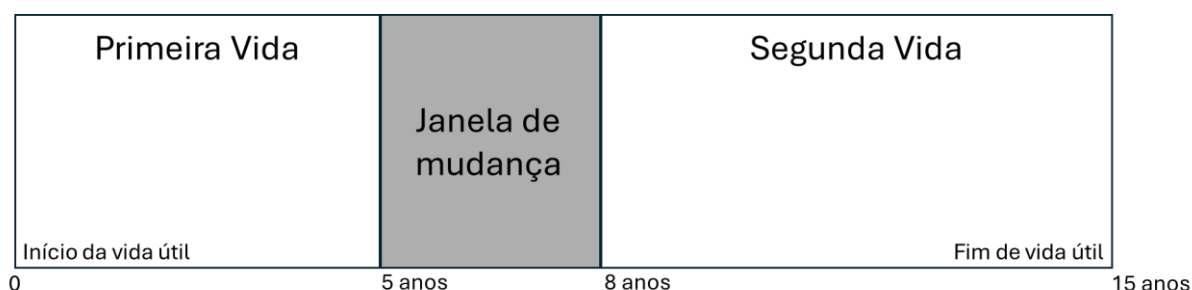
Tabela 10 - Garantia de itens especiais (BYD Dolphin/Dolphin Plus)

Componente	Observação	Período de garantia total por prazo ou quilometragem (Uso normal)
Bateria de tração	Condição de carga NORMAL da bateria \geq a 60% da sua especificação de capacidade máxima durante seu período de garantia.	96 meses
Motor elétrico de tração	Motor, sensor de temperatura do motor, sensor de rotação, controlador do motor.	96 meses ou 200 mil km (o que ocorrer primeiro)

Fonte: Adaptado de BYD, 2025.

No entanto, as baterias dos EV's e HEV's, mesmo com menor SOH, ainda podem ser reaproveitadas em outras aplicações, como em residências que possuem placas fotovoltaicas, estima-se que elas tenham mais 7 a 10 anos de vida útil antes de atingir o fim de vida útil (*End of life* - EOL), essa utilização é conhecida como bateria de segunda vida (*Second life battery* - SLB) (Figura 18). Essa abordagem maximiza o valor financeiro e ambiental das baterias ao mesmo tempo em que prolonga sua vida útil (HARAM, 2021).

Figura 18 - Vida útil das baterias automotivas (EV's e HEV's)



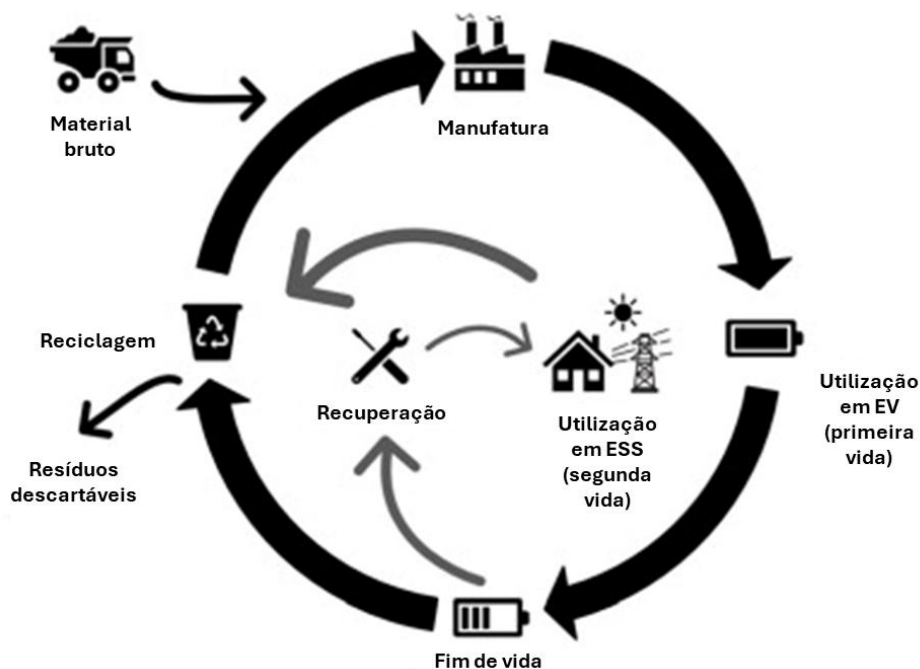
Fonte: Adaptado de HARAM, 2021.

As aplicações secundárias das baterias de lítio incluem sistemas de armazenamento de energia (*Energy storage system* - ESS), que armazenam

eletricidade em residências, empresas ou mesmo em instalações de energia renovável. A mudança para um segundo uso das baterias reduz seu impacto no meio ambiente e adia seu descarte (HARAM, 2021).

A Figura 19 demonstra um ciclo de vida completo das baterias de uso automotivo em EV's.

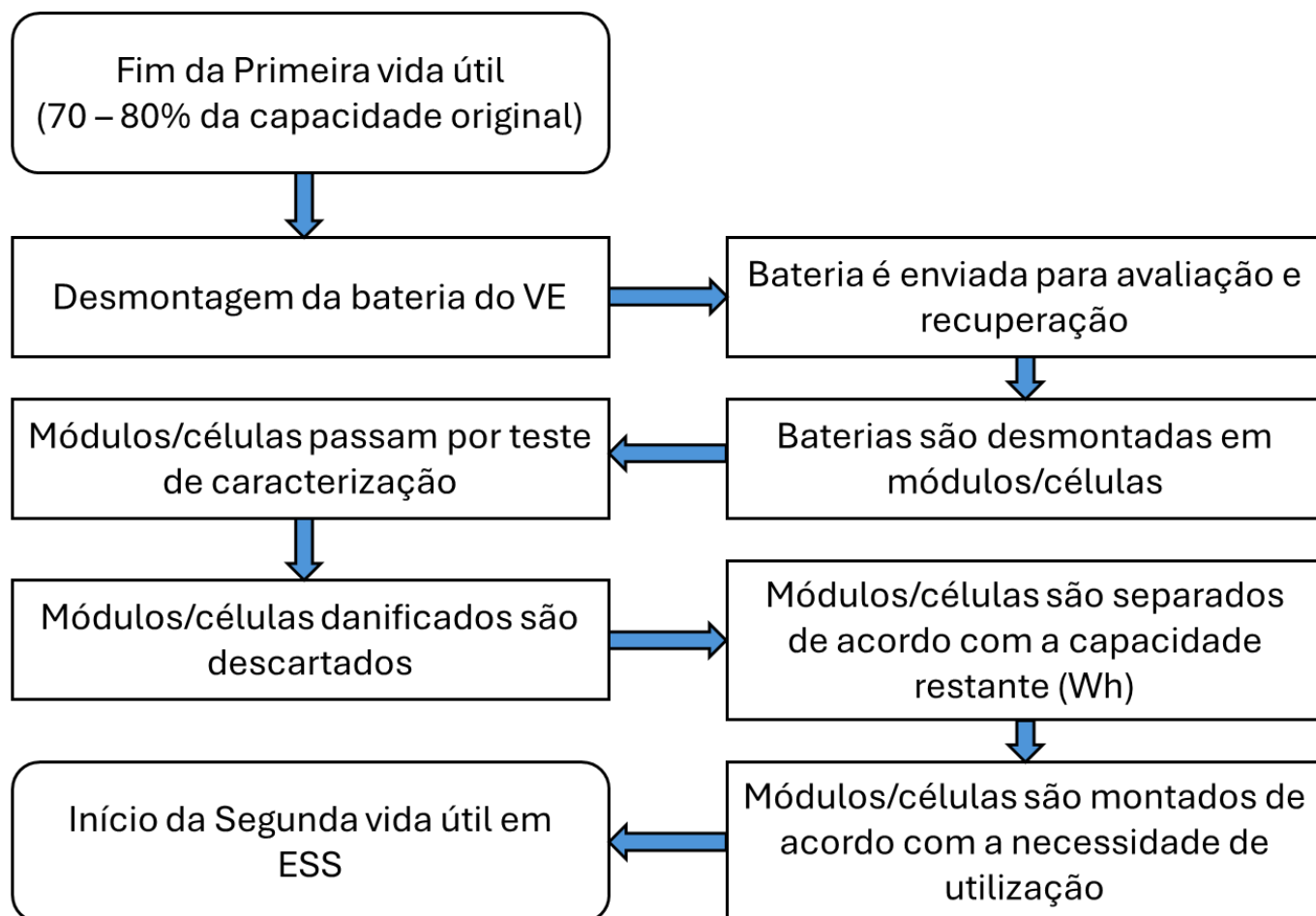
Figura 19 – Ciclo de vida de baterias de EV's considerando segundo uso



Fonte: Adaptado de REINHARDT, 2019.

As LIB's automotivas após chegarem no fim de vida útil da primeira vida, precisam de passar por um processo de recuperação, que dentre vários processos adequam as baterias para a sua utilização em ESS's. Esses processos são enumerados na Figura 20.

Figura 20 - Processo de recuperação das baterias do EV



Fonte: Adaptado de HARAM, 2021.

Assim a reciclagem imediata não é necessária após sua primeira utilização em EV's, no processo de recuperação as células das baterias são separadas, caracterizadas, reorganizadas e montadas nos padrões desejados para utilização em ESS (CREADY, 2003).

Ao fim de sua vida útil secundária as baterias devem ser recicladas. A reciclagem permite a recuperação de materiais valiosos como lítio (Li), cobalto (Co) e níquel (Ni), dentre outros diminuindo o descarte no ambiente, reduzindo os impactos desses materiais (REINHARDT, 2019).

4 METODOLOGIA

A metodologia consistiu em uma pesquisa exploratória, realizada por meio de uma revisão sistemática de literatura com base no protocolo PRISMA. As fontes de pesquisa foram o Portal de Periódicos da CAPES, o Google Acadêmico e o acervo da biblioteca do IFMG Campus Betim.

O período de análise abrangeu publicações de 2010 a 2025. O processo de seleção dos artigos seguiu as seguintes etapas:

1. Identificação inicial dos artigos;
2. Triagem e exclusão de material sem correlação com o tema ou inacessível;
3. Inclusão final dos estudos mais referenciados e revisados por pares.

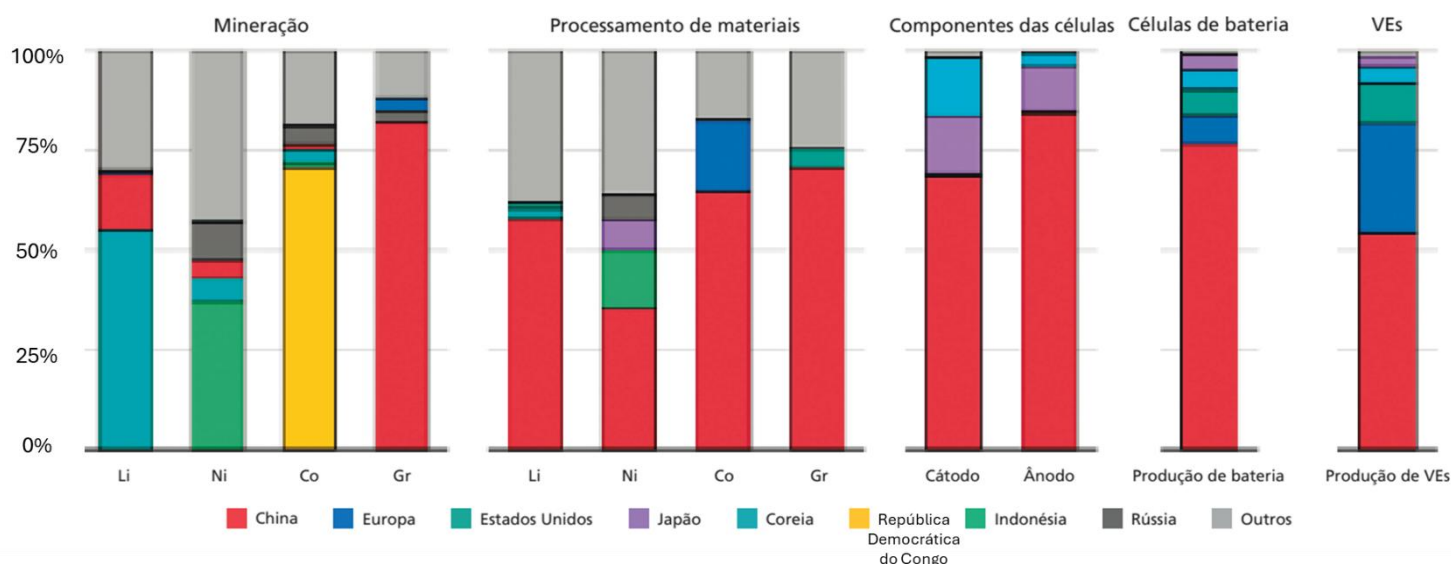
A análise dos dados focou-se em comparar as tecnologias e políticas de incentivo à frota de veículos eletrificados em diversos países, com ênfase no caso brasileiro e em suas características específicas.

5 PESQUISA EXPLORATÓRIA

5.1.1 Fabricação de baterias para EV's

As baterias de lítio são fabricadas principalmente na Ásia, próxima a locais de fabricação dos consumíveis devido a sua alta dependência de produtos específicos das baterias de lítio. A China lidera a produção de diversos recursos da cadeia global de suprimentos para baterias como indica o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Distribuição geográfica da cadeia global de suprimentos de baterias para EV's (2021)



Fonte: BISPO, 2023.

Esse levantamento foi feito por Scarlett Bispo (2023) através de dados apresentados pela Agência Internacional de Energia (IEA) e mostra a dominância do mercado asiático na produção de insumos e produtos para baterias e EV's e HEV's.

O crescimento da China no setor está ligado ao planejamento central do governo Chinês que no 14º planejamento quinquenal, de 2021 a 2025, coloca como meta o crescimento da manufatura de EV's, como demonstrado em:

Essa estratégia visa reduzir a dependência de indústrias pesadas, estabelecendo uma nova meta para elevar a participação das indústrias estratégicas emergentes, como a manufatura avançada (incluindo maquinários e equipamentos de ponta, materiais avançados

e veículos elétricos), de 11,5% do PIB em 2019 para mais de 17% até 2025. (ADB, 2021)

O processo produtivo das baterias começa na extração de matéria prima. A extração do lítio, componente mais utilizado nos cátodos, começa com a extração do material que pode ser encontrado e explorados em diversos países conforme demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11 - Produção e reservas minerais mundiais de lítio

País	Produção mineradora (t)		Reservas estimadas em 2025 (t)
	Ano 2023	Ano 2024	
Argentina	8.630	18.000	23.000.000
Bolívia	-	-	23.000.000
EUA	-	-	19.000.000
Chile	41.400	49.000	11.000.000
Austrália	91.700	88.000	8.900.000
China	35.700	41.000	6.800.000
Canadá	3.240	4.300	5.700.000
Alemanha	-	-	4.000.000
Congo	-	-	3.000.000
México	-	-	19.000.000
Brasil	5.260	10.000	1.300.000

Fonte: USGS, 2025.

Devido à exploração contínua, os recursos de lítio medidos e indicados aumentaram substancialmente em todo o mundo, os principais recursos e reservas de lítio são encontrados em três tipos de depósitos: depósitos pegmatíticos, depósitos de argila vulcânica e depósitos de salmoura. Diferentes técnicas são utilizadas no processamento do lítio, variando de acordo o tipo de depósito, características da região e produto desejado (BOWELL, 2020).

O Chile é o maior produtor das américas, extraíndo 49.000 toneladas de lítio no ano de 2024, e possui a 4ª maior reserva estimada de lítio em 2025. As suas reservas estão concentradas em depósitos de salmoura, conhecidos como planícies salinas ou salmouras continentais, esse tipo de depósito é formado em ambientes áridos onde a água não tem escoamento para o mar, e altas taxas de evaporação levam a formação da salmoura subterrânea. A exploração em planícies salinas favorece a prospecção, exploração e desenvolvimento iniciais dos projetos de

extração, e são menos agressivos do ponto de vista ambiental se comparados a mineração de depósitos de rocha dura (depósitos pegmatíticos) (BOWELL, 2020). A Figura 21 mostra uma planta de extração de lítio no Chile.

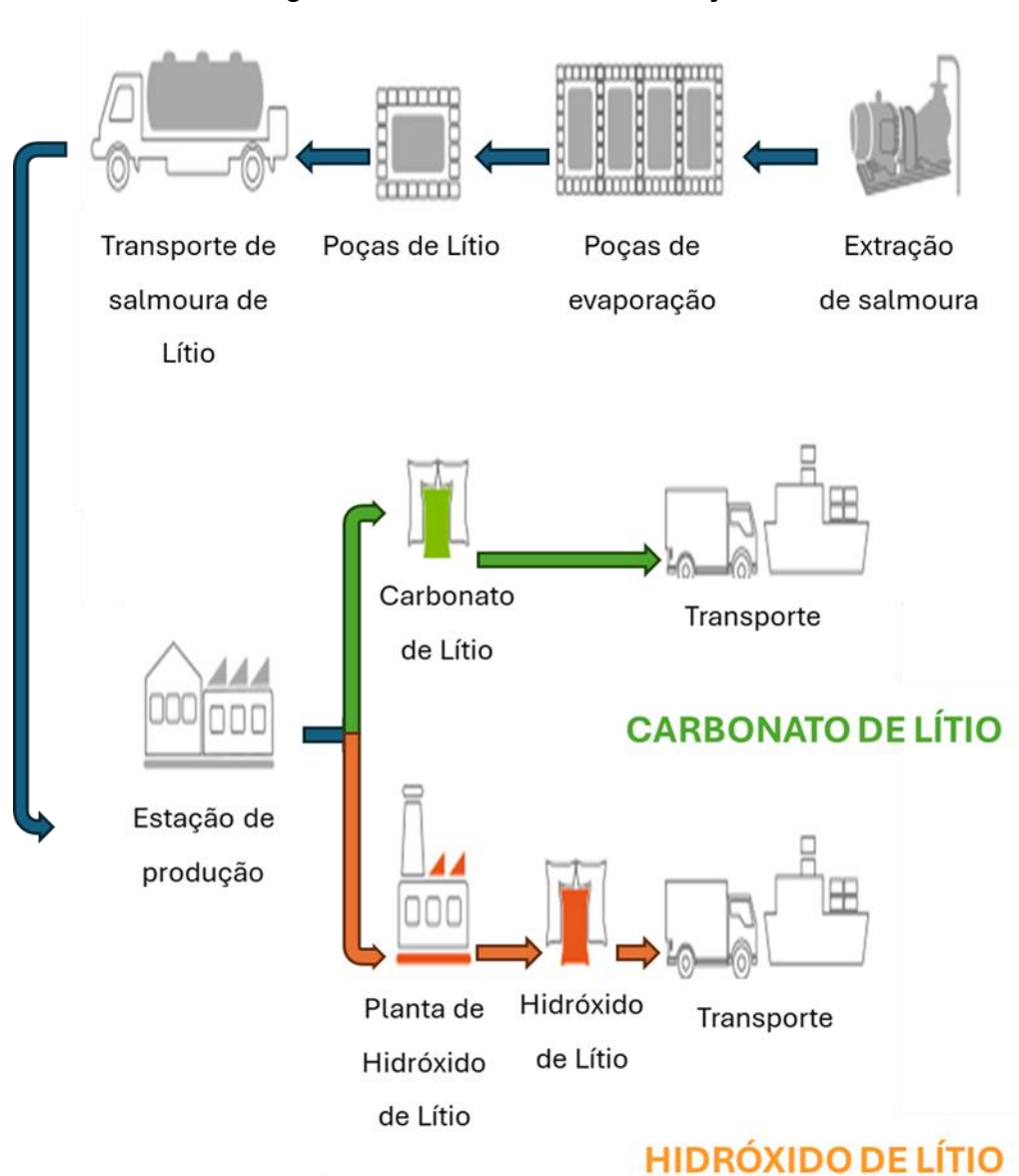
Figura 21 - Planta de extração de lítio no Chile



Fonte: SQM, 2025.

Uma salmoura é uma solução que contém sais dissolvidos em concentrações superiores às da água do mar, essa solução rica em sal é bombeada para uma área onde o lítio (e outros sais) podem ser concentrados por evaporação ou extraídos por separação química. Nessa etapa o mineral é extraído e refinado em carbonato de lítio (Li_2CO_3) ou hidróxido de lítio (LiOH), então são enviados para o seu beneficiamento em estações de produção (BOWELL, 2020 & ZHANG, 2019), esses processos são mostrados na Figura 22.

Figura 22 - Processo de mineração do Lítio



Fonte: SQM, 2025.

Então o carbonato de lítio (Li_2CO_3) e hidróxido de lítio (LiOH) é convertido em lítio metálico que será usado nas células de bateria. Esse processo requer alta precisão uma vez que o produto é uma folha de aproximadamente 0,2mm de espessura. Esse material é então enrolado em rolos com mais de 2000 metros de comprimento que poderão fabricar até 200 baterias (LOWE, 2010).

A extração do lítio através do processo demonstrado depende basicamente da composição da salmoura, assim como, do processo de tratamento utilizado e suas perdas. A reserva no planalto Qinghai-Tibetano na China possui 0,035% de Li em sua salmoura, e tem uma eficiência de 72,91% na extração do Carbonato de lítio (Li_2CO_3)

com 73,86% de pureza, logo, após o tratamento de 1t de salmoura o Li_2CO_3 (73,86%) obtido seria de aproximadamente 255g (Tabela 12) (ZHANG, 2019).

Tabela 12 – Dados de extração de Li em salmoura

Salmoura	Local	Concentração de Lítio (%)	Eficiência extração (%)	Pureza do Li_2CO_3 extraído (%)	Li_2CO_3 (73,86%) extraído por t (g)
Tibet Damxung	Planalto Qinghai-Tibetano (China)	0,035%	72,91%	73,86%	255 g

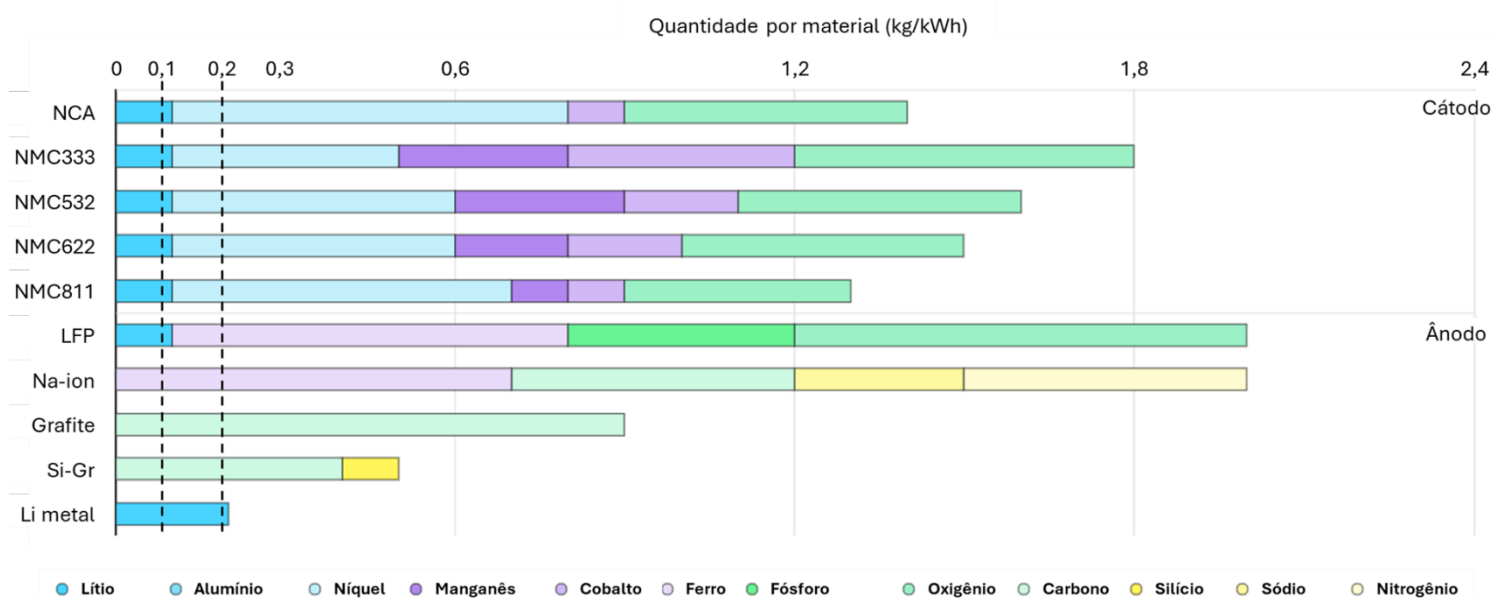
Fonte: ZHANG, 2019.

Contudo, para utilização em baterias, o Li_2CO_3 deve apresentar pureza de aproximadamente 99,5%. Para alcançar esse grau de pureza, são necessários métodos produtivos como precipitação, eletrodialise, adsorção e extração por solvente no beneficiamento do material. Ao final do processo, observa-se uma perda de 20% a 30% do material original. (ZHANG, 2019). Logo com uma extração de 255g/t de Li_2CO_3 (73,86%) após esse processo pode ser calculado no pior dos casos 179g/t de Li_2CO_3 (99,5%).

O lítio metálico é então aquecido a temperaturas superiores a 100°C por períodos longos (superiores a 80 minutos) e testadas para se garantir a correta transmissão elétrica. Por fim o produto é particionado de acordo com sua aplicação nos veículos (LOWE, 2010).

A quantidade de lítio (Li) utilizado em cada bateria automotiva varia de acordo com o tipo do ânodo e cátodo utilizado, conforme Gráfico 5.

Gráfico 5 – Conteúdo material em diferentes ânodos e cátodos



Fonte: Adaptado de IEA, 2023.

Em geral a quantidade de lítio (Li) utilizada nos ânodos e cátodos das baterias variam de 0,1 a 0,2 kg/kWh, assim, considerando uma bateria da configuração Li-metal (ânodo) e NCA (cátodo) utilizaria cerca de 0,3 kg/kWh de lítio (Li).

As baterias de modelos BEV exemplificado anteriormente, o BYD Dolphin GS 180EV, possui uma bateria de 44,9 kWh composta de Grafite (ânodo) e LFP - LiFePO_4 (cátodo). Logo para a construção desse tipo de bateria seriam necessários $0,1 \text{ kg/kWh} \times 44,9 \text{ kWh}$, algo próximo de 4490 g de Li. E considerando a extração/beneficiamento descritos anteriormente de 179g/t de Li_2CO_3 (99,5%), é possível concluir que para a produção dessa bateria foram necessários a extração de 25 toneladas de salmoura do meio ambiente. A exploração desses recursos tem impactos ambientais que incluem poluição e esgotamento da água, danos ao solo e contaminação do ar (ARAL, 2011).

5.1.2 Descarte de baterias de EV's

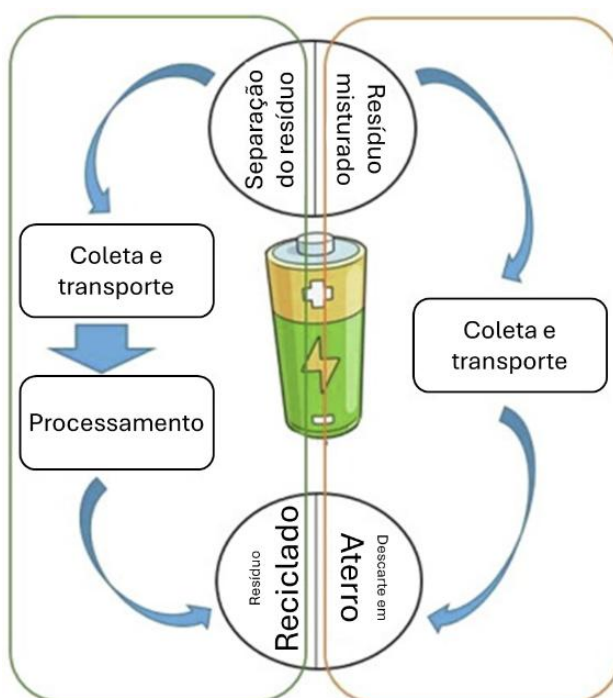
A degradação das baterias ocorre por diferentes mecanismos, dentre os quais destacam-se, a perda irreversível de capacidade e aumento da impedância, causados pela fadiga durante os ciclos de carga e descarga, a degradação do cátodo por sobrecarga, e a formação de camadas superficiais no cátodo, compostas por materiais orgânicos e inorgânicos derivados da decomposição do eletrólito e do próprio cátodo (HAUSBRAND, 2015).

Ao atingirem um nível de desgaste que inviabilize sua utilização, as baterias devem ser adequadamente descartadas. Quando não descartadas corretamente, metais como lítio, cobalto, níquel e outros componentes podem causar impactos ambientais significativos. Conforme destacado por Souza (2001):

Todos os componentes da bateria contribuem para a poluição do meio ambiente quando descartados de maneira inadequada principalmente pelo conteúdo metálico, sendo considerados resíduos perigosos.

Na figura 23 é possível compreender que existem basicamente duas destinações para os resíduos de baterias.

Figura 23 – Esquema resíduos de bateria



Fonte: MAHMOOD, 2023.

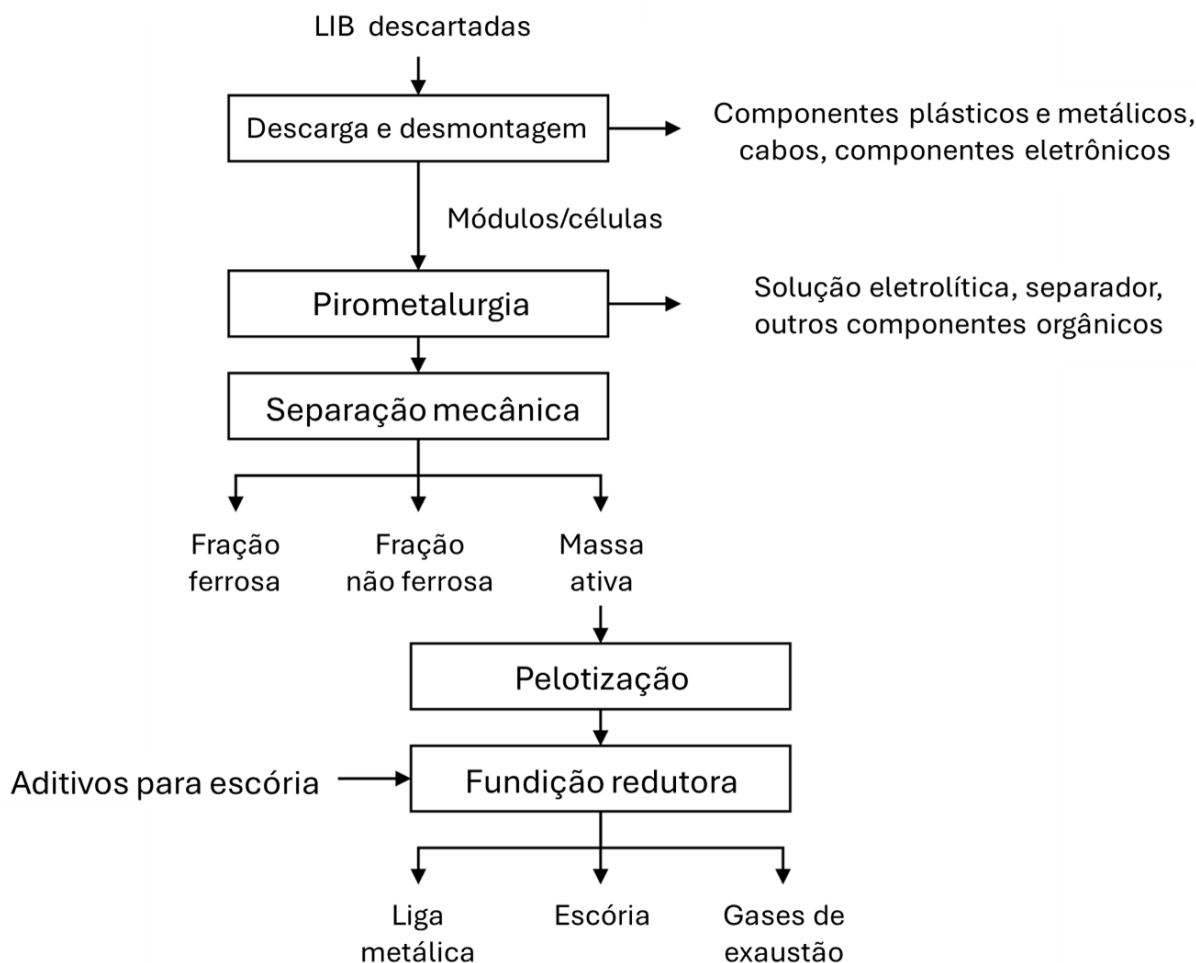
A diferença fundamental está na existência, ou na falta, de separação do resíduo após o descarte. Ou seja, se houver o trabalho de destinação correta no momento do descarte, é possível garantir a reciclagem e o processamento adequado, evitando assim a contaminação do ambiente. No entanto, muitos países em desenvolvimento, como o Brasil, não possuem um planejamento eficiente de reciclagem para esse tipo de bateria, fazendo com que os rejeitos sejam descartados sem o tratamento correto. (ALAVI, 2015, da SILVEIRA, 2019). Dessa forma é mais preciso considerar que a maior parte dos resíduos das baterias acabem por não ter o correto processamento e reciclagem, fazendo com que a sua destinação seja o mesmo do lixo comum.

No Brasil, o descarte de pilhas, baterias de aparelhos eletrônicos e até mesmo baterias automotivas é regido pela Resolução nº 401/2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que será abordada em outro capítulo. Essa regulamentação única demonstra falta de planejamento, uma vez que tais resíduos apresentam características e dimensões distintas, o que inviabiliza a aplicação de um mesmo tratamento para todos.

Após a separação do material constituinte das baterias automotivas de acordo com Aichberger (2020), três métodos de reciclagem são comumente utilizados para o processamento, sendo as opções a pirometalurgia, a hidrometalurgia e uma terceira opção que ainda é a aplicada apenas em laboratório, a reciclagem direta.

Pirometalurgia é um processo de alta temperatura que reduzem metais como o cobalto e níquel para o estado metálico e é o método mais comum de reciclagem de Li-ion presente nas baterias (Figura 24). Entretanto, a energia necessária é alta, e procedimentos adicionais são necessários para recuperar outros metais (AICHBERGER, 2020).

Figura 24 - Ilustração esquemática do processo de pirometalurgia multi etapas



Fonte: Adaptado de REINHART, 2023.

Nessa ilustração é possível identificar um fluxo do processo de reciclagem das LIB's através da pirometalurgia, várias etapas são necessárias para a extração do material desejado, seja ele ferroso, não ferroso ou liga metálica.

O processo começa com o descarregamento e desmontagem da bateria, retirando componentes plásticos, cabos e outros componentes da carcaça. Os itens resultantes passam pelo processo de pirometalurgia, exposição a altas temperaturas, para extrair e refinar o material.

O processo de pirometalurgia em múltiplas etapas, demonstrado na Figura 24, foi desenvolvido para minimizar as perdas durante o processamento. Nessa abordagem, a etapa inicial de pirometalurgia remove a solução eletrolítica e os componentes orgânicos (como solventes e constituintes do separador), possibilitando a separação mecânica da fração ferrosa, não ferrosa e da massa ativa, esta última referente aos materiais que compõem os eletrodos (ânodo e cátodo). Posteriormente,

a massa ativa é submetida a altas temperaturas e, com a utilização de aditivos, torna-se possível a extração da liga metálica desejada (REINHART, 2023).

A hidrometalurgia é um método para recuperar íons metálicos, em que as etapas mais importantes são a lixiviação dos minerais (extração de um minério através da dissolução seletiva em uma solução aquosa), a recuperação e purificação dos íons metálicos com a utilização de solventes (remoção de impurezas, visando a obtenção de metais com alto grau de pureza) e o processo final de eletrodeposição (processo de recuperação de metais através da deposição sobre uma superfície). (MALDONADO, 2020).

Já o procedimento de reciclagem direta ainda é utilizado apenas em escala laboratorial e tenta extrair o cátodo da bateria sem que a estrutura química seja rompida. O cátodo após ser extraído passa por processos de caracterização e recuperação, mas a sua utilização está limitada a baterias com a mesma característica da bateria de origem, isso pode impossibilitar a utilização prática desse método (AICHBERGER, 2020).

5.1.3 Impactos ambientais do ciclo de vida de baterias automotivas

Visão geral dos impactos

Diversos impactos ambientais estão relacionados com a produção e reciclagem de baterias automotivas para EV's e HEV's. É necessário entender as questões ambientais relacionadas à fabricação e descarte das baterias, para assim entender como mitigar os impactos no meio ambiente (QUIROGA, 2019).

Os dados ainda estão sendo coletados, mas existem resultados quantitativos que analisam os impactos ambientais das baterias disponíveis na literatura, Christian Aichberger (2020) realizou um levantamento de 50 estudos, entre os anos de 2005 e 2020, sobre as LIB's utilizadas em veículos, esses valores são demonstrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados de impacto ambiental das LIB's em diversas categorias

		Unidade	Produção da bateria (mediana)	Impacto da reciclagem (mediana)	Impacto acumulado da produção e reciclagem (mediana)	Redução potencial da reciclagem (mediana)	
Energia	Demanda energética primária	kWh	284	76,4	360,4	-0,904	0,3%
Aquecimento global	GWP	kg CO ₂ -eq	120	5,65	125,65	-26	21%
	ADP	kg Sb-eq	0,0593	0,0000816	0,0593816	-0,0473	80%
Depleção de recursos ambientais	Depleção hídrica	m ³	0,562	N/A	0,562	N/A	N/A
	FDP	kg oil-eq	50,8	1,99	52,79	N/A	N/A
	MDP	kg Fe-eq	99,9	0,217	100,117	N/A	N/A
Acidificação	AP	kg H ⁺ Mol-eq	2,33	0,0863	2,4163	-0,555	23%
	TAP	kg SO ₂ -eq	2,03	0,0542	2,0842	N/A	N/A
Ecotoxicidade	FWAE	kg 1,4-DB-eq	9,61	0,159	9,769	N/A	N/A
	MAE	kg 1,4-DB-eq	10,4	0,146	10,546	N/A	N/A
	TE	kg 1,4-DB-eq	0,0495	0,0118	0,0613	N/A	N/A
Eutrofização	EP	kg N-eq	0,0821	N/A	0,0821	-0,0098	12%
	MEP	kg N-eq	0,241	0,0125	0,2535	-0,167	66%
	TETP	mol N-eq	2,12	0,112	2,232	-0,439	20%
	FEP	kg P-eq	0,183	0,0106	0,1936	-0,0369	19%
Toxicidade humana	HTP	kg 1,4-DB-eq	250	4,01	254,01	N/A	N/A
Ozônio	ODP	kg CFC 11-eq	0,00012	0,000004	0,00012	-0,000002	2%
Poluentes atmosféricos	PMFP (2,5)	kg PM _{2,5} -eq	0,162	0,0118	0,1738	-0,0441	25%
	PMFP (10)	kg PM ₁₀ -eq	0,585	0,015	0,6	N/A	N/A
	SOx	g	960	N/A	960	N/A	N/A
	NOx	g	110	N/A	110	N/A	N/A
	PM10	g	113	N/A	113	N/A	N/A
Ozônio fotoquímico	POFP	kg NMVOC	0,68	0,032	0,712	-0,136	19%

Fonte: Adaptado de AICHBERGER, 2020.

Na tabela são demonstrados os impactos gerados durante a 'produção da bateria', que incluem: a extração mineral, o processamento do material, a manufatura das células, a montagem das baterias e os transportes entre esses processos. Já o 'impacto da reciclagem' está relacionado aos processos mencionados anteriormente, como a pirometalurgia e a hidrometalurgia, que também causam impactos ambientais.

Para efeito comparativo, tomando como exemplo o caso do aquecimento global, observa-se que a produção da bateria gera o equivalente a 120 kg de CO₂, enquanto o processo de reciclagem emite 5,65 kg de CO₂, resultando em um impacto acumulado de 125,65 kg de CO₂. Contudo, considerando que a reciclagem proporciona uma redução potencial de 26 kg de CO₂, conclui-se que, apesar de gerar alguma contaminação, esse processo reduz em cerca de 21% o impacto total quando comparado a não reciclagem (Tabela 14).

Tabela 14 - Resultados de impacto ambiental das LIB's no aquecimento global

		Unidade	Produção da bateria (mediana)	Impacto da reciclagem (mediana)	Impacto acumulado da produção e reciclagem (mediana)	Redução potencial da reciclagem (mediana)	
Aquecimento global	GWP	kg CO ₂ -eq	120	5,65	125,65	-26	21%

Fonte: Adaptado de AICHBERGER, 2020.

Percebe-se que os diversos impactos quantitativos descritos estão diretamente relacionados à produção de baterias automotivas, aos processos de reciclagem e às reduções potenciais que a reciclagem pode proporcionar. Embora os resultados variem entre as diferentes categorias de impacto, os valores associados à reciclagem e seus benefícios demonstram que, na maioria dos casos, a reciclagem se mostra ambientalmente vantajosa em praticamente todas as categorias.

Os possíveis impactos, assim como, as nomenclaturas e abreviações utilizadas na tabela são escritas abaixo por Aichberger (2020).

Depleção de recurso ambientais

Esta quantificação é utilizada para categorizar as quantidades de recursos abióticos, combustíveis fósseis e minerais necessários ao processo. Para minerais, a

métrica de esgotamento de recursos abióticos (*Abiotic resource depletion* - ADP) é baseada em equivalentes de antimônio (Sb), e dividida em partes: potencial de esgotamento de combustíveis fósseis (*Fuel depletion potential* - FDP), com base em equivalentes de petróleo, potencial de esgotamento de metais (*Metal depletion potential* - MDP), com base em equivalentes de ferro, ou esgotamento de água (Depleção hídrica em m³).

Os indicadores fazem relação não apenas a quantidade total de recursos utilizados, mas também compara a utilização com os recursos de reserva ainda disponíveis (segundo os relatórios da Agência de Proteção Ambiental dos EUA), criando assim uma correlação com a redução global da disponibilidade dos recursos para o futuro. O esgotamento dos recursos tem efeitos globais, regionais e locais e depende, por exemplo, das quantidades de materiais na bateria e dos combustíveis fósseis utilizados na produção da bateria.

Acidificação

A acidificação é o processo de diminuição do pH de um ambiente, seja ele aquático ou terrestre, tornando-o mais ácido. Mensurada através das emissões de óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), ácido clorídrico (HCL), ácido fluorídrico (HF) ou amônio (NH₄⁺). Para o potencial de acidificação global (*Acidification potential* - AP), as moléculas de íons H⁺ indicam o número de ácidos. Para um potencial de acidificação terrestre (*Terrestrial acidification potential* - TAP), os equivalentes de dióxido de enxofre (SO₂).

Existem impactos regionais e globais, a acidificação pode levar, por exemplo, à corrosão de estruturas como casas e edifícios e tem impactos negativos na água, na vegetação e no solo, a nível regional ou local.

Ecotoxicidade

A ecotoxicidade refere-se a efeitos prejudiciais de substâncias químicas e poluentes sobre os organismos e ecossistemas levando a diminuição da biodiversidade e da biodiversidade enquanto a toxicidade humana pode resultar em aumento da morbidade e mortalidade. A ecotoxicidade é dividida em ecotoxicidade aquática de água doce (*Freshwater aquatic ecotoxicity* - FWAE), ecotoxicidade aquática marinha (*Marine aquatic ecotoxicity* - MAE) e ecotoxicidade terrestre (*Terrestrial ecotoxicity* - TE). Todas elas, são declaradas com o equivalente em kg de

1,4-Diclorobenzeno, que é um sólido usado em inseticidas e germicidas e tem efeitos tóxicos nos organismos (NCBI, 2024).

A toxicidade pode ser significativa na produção de baterias, devido ao uso de metais, especialmente níquel e cobalto, que atualmente são os principais materiais utilizados na produção de cátodos das baterias, conforme discutido anteriormente.

Eutrofização

A eutrofização descreve a acumulação de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio no solo ou nas massas de água, o que, localmente, provoca um aumento do crescimento de algas e leva ao esgotamento do oxigênio, causando assim um desequilíbrio na fauna, com a diminuição da quantidade de peixes nos locais afetados. A eutrofização é dividida em 4 tipos: potencial de eutrofização (*Eutrophication potential* - EP), potencial de eutrofização de água doce (*Freshwater eutrophication potential* - FEP), potencial de eutrofização marinha (*Marine eutrophication potential* - MEP) e potencial de eutrofização terrestre (*Terrestrial eutrophication potential* - TETP).

As emissões que contribuem para a eutrofização são fosfato (PO_4), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), nitratos (NO_3^-) e amônia (NH_3) e podem ser geradas, tal como na acidificação, no momento da fabricação ou reciclagem de baterias.

Toxicidade humana

O potencial de toxicidade humana (*Human toxicity potential* - HTP) descreve os impactos negativos sobre os seres humanos, um potencial elevado pode resultar em aumento da morbidade e mortalidade. Ele utiliza a mesma unidade equivalente, baseada em equivalente em kg de 1,4-Diclorobenzeno.

Depleção de ozônio e Ozônio fotoquímico

O potencial de destruição da camada de ozônio (*Ozone depletion potential* - ODP) leva a redução da concentração de ozônio na estratosfera e por consequência diminui a radiação ultravioleta filtrada nessa camada. Emissões de clorofluorcarbonetos (CFCs), hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs), brometo de metila (CH_3Br) estão associados a destruição da camada de ozônio, esses gases podem ser convertidos a um valor equivalente triclórofluorometano (CFC-11).

O potencial de formação de ozônio fotoquímico (*Photochemical ozone formation potential* - POFP) é descrito pela formação de ozônio troposférico no nível do solo, que é mensurado através de kg de emissões de compostos orgânicos voláteis não metano (*Non-methane volatile organic compounds* - NMVOC's).

Poluentes atmosféricos

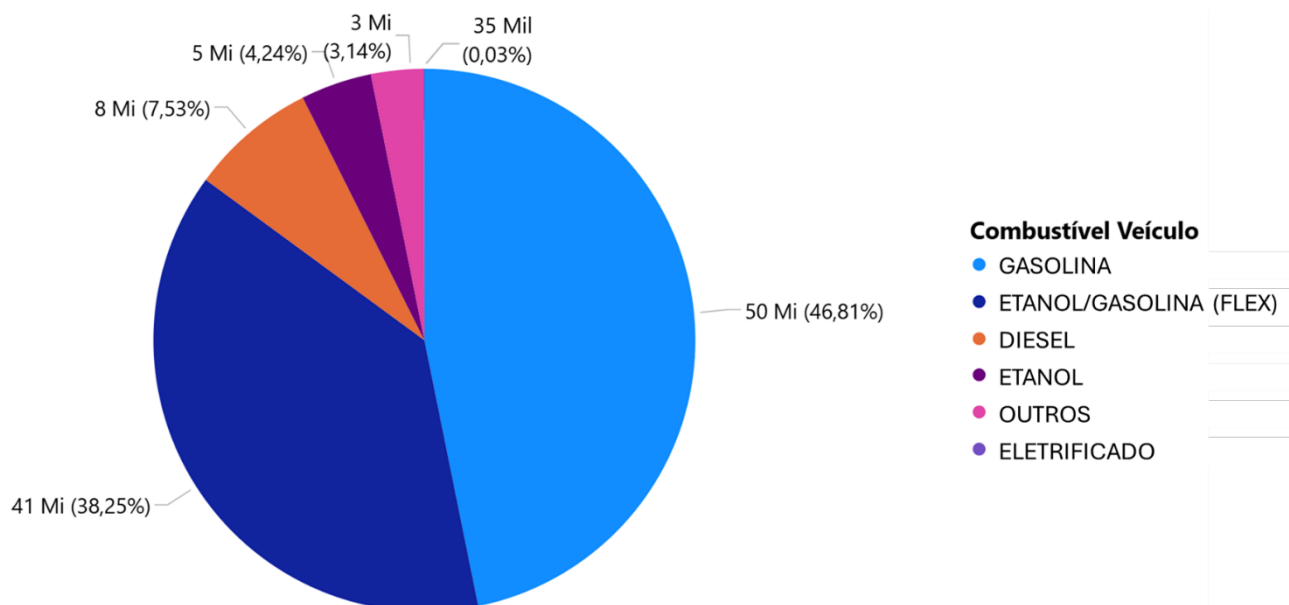
O material particulado (*Particulate matter* - PM) são poluentes atmosféricos como SO_x e NO_x, muitas vezes não são avaliados diretamente como um impacto específico, mas incorporados em outras categorias de impacto, como na acidificação. A fonte desses poluentes pode ser proveniente do sistema de produção ou dos gases liberados durante reciclagem das células das baterias, como na técnica de pirometalurgia.

5.2 Desafios, Barreiras e incentivos da implementação de EV's e HEV's

A porção de veículos eletrificados ainda é bastante volátil e depende de diversos fatores do país. No Brasil o avanço dos EV's e HEV's pode atingir nos próximos anos algo próximo ou superior a 1% da quantidade total de veículos em circulação, isso resultaria em um potencial de dependentes da rede energética brasileira. Com as novas tecnologias dos EV e HEV se faz necessária um novo tipo de infraestrutura para atender a demanda energética proveniente da mudança da matriz energética dos veículos (VAZ, 2015).

Segundo os dados informados pela Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN) é possível fazer uma análise da mudança na frota brasileira. O perfil da frota brasileira de acordo com o tipo de combustível no ano de 2020 é demonstrada no Gráfico 6.

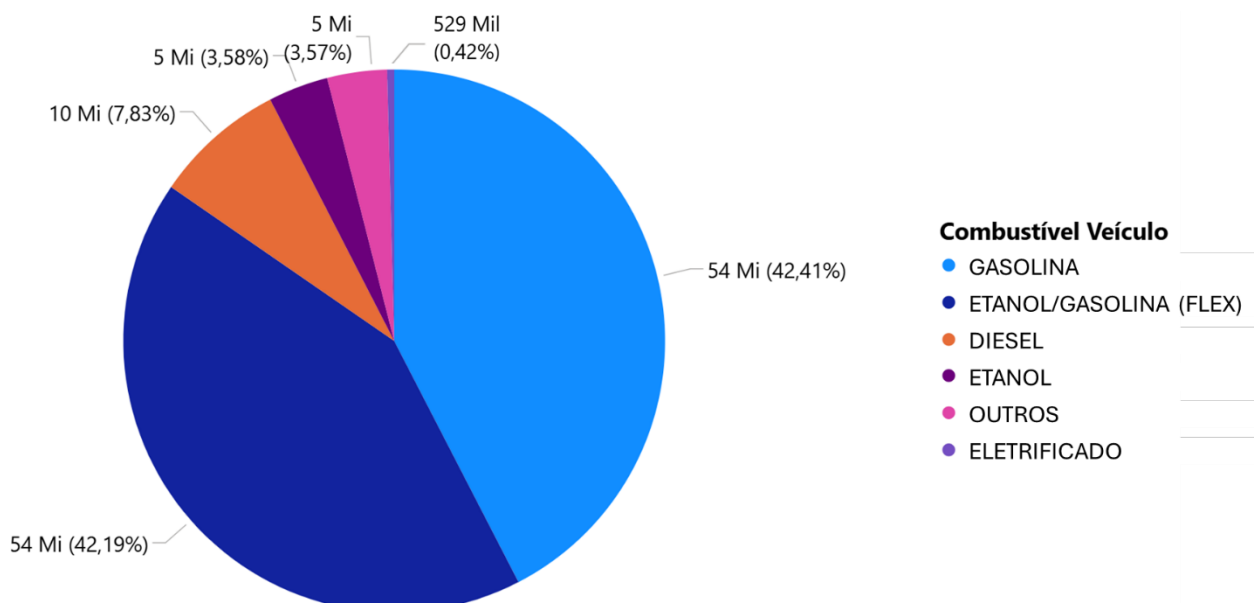
Gráfico 6 - Quantidade de veículos na frota brasileira por tipo de combustível 2020



Fonte: Adaptado de SENATRAN, 2025.

Nesse contexto, no Brasil em 2020 cerca de 35mil veículos tinham algum tipo de eletrificação (BEV, HEV, PHEV ou MHEV), esse número correspondia a 0,03% do total da frota brasileira. No Gráfico 7 é possível ver os valores correspondentes para o ano de 2025.

Gráfico 7 - Quantidade de veículos na frota brasileira por tipo de combustível 2025



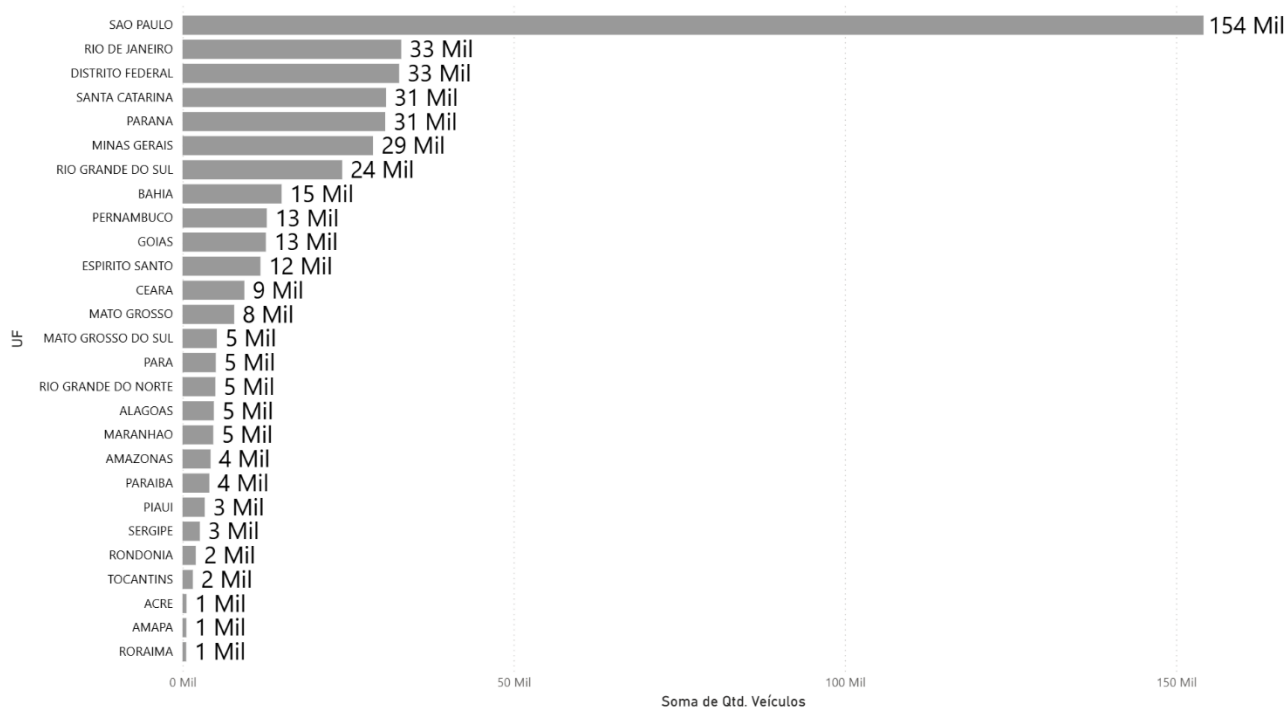
Fonte: Adaptado de SENATRAN, 2025.

Em janeiro de 2025, os valores de veículos eletrificados atingiram 529 mil unidades na frota brasileira, um crescimento de 1.411% em comparação aos 35 mil registrados em 2020. O percentual de veículos eletrificados passou de 0,03% para 0,42% no período.

Entre as fontes de combustível, a gasolina registrou a maior redução, com sua participação diminuindo de 46,81% para 42,41%, uma queda de 4,4 pontos percentuais. Em contrapartida, os modelos flex (etanol/gasolina) aumentaram sua participação de 38,25% para 42,19%, representando um ganho de 3,9 pontos percentuais. Esses dados sugerem que os veículos eletrificados podem estar substituindo a diferença residual (0,5%) anteriormente ocupada por veículos movidos exclusivamente a gasolina no mercado.

O estado que lidera o ranking de mais veículos eletrificados é o estado de São Paulo com mais de 154 mil registros, contudo é possível perceber que ainda existe uma grande disparidade com o restante do país, conforme pode ser observado no Gráfico 8 (SENATRAN, 2025).

Gráfico 8 - Estatísticas de Frota de Veículos por UF (eletrificados)



Fonte: Adaptado de SENATRAN, 2025.

5.2.1 Políticas públicas sobre baterias que afetam os EV's no cenário mundial

No cenário brasileiro as políticas públicas de incentivo acabam por não acompanhar as correntes de inovação que a expansão da frota de EV's e HEV's estão trazendo. Como apontado sobre a utilização de EV's no transporte de carga no Brasil por Da Silva (2022) em:

Por isso, tal transição é cada vez mais lenta, uma vez que as empresas não encontram no governo o respaldo necessário para investir na modernização da frota. (DA SILVA, 2022)

Diversas políticas públicas são implementadas ao redor do globo, muito direcionadas ao controle de resíduos proveniente de baterias e equipamentos eletrônicos (GRANDHI, 2024). Algumas dessas normativas internacionais e nacionais estão descritas abaixo:

Regulamento (UE) 2023/1542 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 2023, relativo às baterias e respetivos resíduos, que prevê:

A procura de baterias deve crescer rapidamente nos próximos anos, com foco nos veículos de transporte rodoviário e para o transporte de passageiros que utilizam baterias para tração. Tornando o mercado de baterias cada vez mais estratégico a nível mundial. [...] é necessário estabelecer regras relativas à sustentabilidade, ao desempenho, à segurança, à recolha, à reciclagem e à segunda vida útil das baterias, bem como a informações sobre as baterias para os utilizadores finais e os operadores económicos. (EUR-LEX, 2023)

Decreto-Lei n.º 152-D/2017 do Governo Português (2017): definiu, no Programa Nacional:

Promoção da prevenção e da gestão de resíduos integrados no ciclo de vida dos produtos. [...] visa o aumento da taxa de preparação de resíduos para reutilização e reciclagem, desviando assim os resíduos passíveis de deposição em aterro. [...] Bateria ou acumulador industriais utilizados em qualquer tipo de veículos elétricos. (DIÁRIA DA REPÚBLICA, 2017)

De acordo com POUIKLI (2020) a maior limitação para os países da UE está relacionada com o desenvolvimento acelerado das novas tecnologias e produtos que ainda não estão especificados na legislação. Além disso, os objetivos mínimos de tratamento e resíduos de baterias não estão definidos de forma adequada para reduzir os impactos ambientais do descarte improprio.

Nos Estados Unidos a 40 CFR define as normas para gestão universal de resíduos, sendo que existem diferentes tratamentos para diferentes tipos de baterias, mudanças relativas à constituição e interações com o ambiente e outros rejeitos (GIOSUÈ, 2021). Nos parágrafos 266 e 273 são as normas que determinam qual tratamento deve ser realizado para que se minimize os impactos ambientais e exista a promoção da reciclagem, especialmente das baterias com a classificação de resíduos perigos (CFR, 2025).

A China por sua vez estabeleceu algumas políticas para promover a reciclagem de recursos de EV's, como por exemplo as medidas para a gestão da recuperação e utilização de baterias de veículos de nova energia (EV's e HEV's) de 2018:

Visa fortalecer a gestão da recuperação e utilização de baterias de energia para veículos de nova energia, promover a utilização abrangente dos recursos, proteger o meio ambiente e a saúde humana, garantir a segurança e promover o desenvolvimento sustentável e saudável da indústria de veículos de nova energia. (ECOLEX, 2018)

5.2.2 Políticas públicas sobre baterias que afetam os EV's no Brasil

No Brasil, basicamente 2 normativas que regem o tratamento dos resíduos das baterias no território nacional, ainda não existem diretrizes específicas para as baterias dos EV's e HEV's, assim, elas são enquadradas nas mesmas normas que regulam o descarte de pilhas e baterias menores.

Sendo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº401 de 2008. Que considerando a necessidade de minimizar os impactos negativos causados ao meio ambiente pelo descarte inadequado de pilhas e baterias, instaura normas para o limite de componentes químicos como chumbo e mercúrio. Além disso, na resolução é ainda identificada a necessidade de se disciplinar o gerenciamento ambiental de pilhas e baterias, no que tange à coleta, reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final.

Outra norma brasileira é a lei 12.305/10, também conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece diretrizes para a gestão e o gerenciamento adequado de resíduos sólidos no país.

São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: [...] pilhas e baterias (Lei nº 12.305, 2010)

Por se tratar de um tema novo no cenário brasileiro no Brasil não existe nenhuma Lei específica para o tratamento e descarte de bateria dos EV's e HEV's. Contudo, o projeto de lei nº 2132, de 2025, propõe avanços na legislação em:

Estabelece regras para o reaproveitamento de baterias de carros elétricos e cria a Política Nacional de Circularidade das Baterias. Essa política visa planejar e incentivar a reutilização das baterias, desde a fabricação até o descarte, buscando reduzir o impacto ambiental e promover a economia circular. A proposta também trata da extração de materiais das baterias usadas e da rastreabilidade desses produtos. (PL nº 2.132, 2025)

Assim, é possível entender que esforços globais são feitos para garantir que os impactos ambientais sejam monitorados e mitigados. O Brasil não está em lugar de destaque com relação aos investimentos em reciclagem, mas os grandes potenciais globais já estão tomando seu lugar na vanguarda.

É possível verificar na Tabela 15 que o bloco europeu lidera no número de empresas ligadas a reciclagem de LIB.

Tabela 15 - As 10 maiores empresas globais que reciclam LIB (2025)

Rank	Nome da empresa	Sede	Receita em 2024 (Bilhões de dólares)
1º	Glencore plc	Baar, Suíça	217,83
2º	LG Energy Solution Ltd.	Seul, Coreia do Sul	21,7
3º	Stena Recycling	Gotemburgo, Suécia	5,7
4º	Ecobat	Dallas, EUA	~5 (estimado)
5º	Ganfeng Lithium Group Co., Ltd	Xinyu, China	4,66
6º	Umicore N.V.	Bruxelas, Bélgica	4,29

7º	Fortum Battery Recycling	Espoo, Finlândia	~2 (estimado)
8º	Redwood Materials, Inc.	Carson City, EUA	0,17
9º	American Battery Technology Company	Reno, EUA	< 0,1 (estimado)
10º	Li-Cycle Holdings Corp.	Toronto, Canadá	< 0,1 (estimado)

Fonte: BLACKRIDGE, 2025.

A transição acelerada para EV's é um dos maiores impulsionadores da demanda por baterias, com as baterias automotivas estimadas para se tornarem a maior parcela de baterias para reciclagem (BLACKRIDGE, 2025). Mas as LIB's são usadas em diversas aplicações, incluindo:

- Dispositivos eletrônicos de consumo, como câmeras, celulares, dispositivos portáteis;
- Ônibus elétricos;
- Carros elétricos;
- Motocicletas elétricas;
- Ferramentas elétricas;
- Sistemas de armazenamento de energia.

5.2.3 Tributações de EV's e HEV's no Brasil

O governo brasileiro no âmbito federal e estadual, tem diversas tentativas de incentivos para os donos de EV's e HEV's. Políticas de redução de impostos como, por exemplo, do IPVA, são praticadas por diversos estados, cada qual com sua peculiaridade.

O estado de São Paulo, estado com a maior quantidade de veículos eletrificados no Brasil (SENATRAN, 2025), isenta o pagamento do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) de HEV's. Como pode ser observado na Lei Estadual nº 18.065/2024:

Ficam isentos do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores - IPVA, no período de 1º de janeiro de 2025 a 31 de dezembro de 2026, os veículos automotores a que se refere o inciso

III do artigo 9º do corpo permanente desta lei, movidos exclusivamente a hidrogênio ou híbridos com motor elétrico e com motor a combustão que utilize, alternativa ou exclusivamente, etanol, de valor não superior a R\$ 250.000,00 (duzentos e cinquenta mil reais). (Lei nº 18.065, 2024)

O estado de Minas Gerais por exemplo, dispõe na Lei nº 25.378, de 2025 que os EV's e HEV's precisam ser fabricados no estado, como pode ser observado no trecho:

É isenta do IPVA a propriedade de: [...] veículo novo, fabricado no Estado, cujo motor de propulsão seja movido a gás natural ou a energia elétrica, veículo novo híbrido, fabricado no Estado, que possua mais de um motor, sendo pelo menos um deles movido a energia elétrica. (Lei nº 25.378, 2025)

O Grupo Stellantis, que possui uma fábrica no estado, está investindo nessas novas tecnologias e produzindo modelos MHEV. O Fiat Fastback e o Fiat Pulse (Figura 25) são exemplos dessa nova tendência. O modelo representado abaixo é vendido em 2025 por R\$ 146.000,00. Considerando que o IPVA tem uma alíquota de 4% para esse veículo, a isenção do IPVA representa uma economia de R\$ 5.840,00 por ano (sem considerar desvalorizações ou possíveis mudanças na legislação).

Figura 25 - Fiat Pulse Impetus Turbo 200 Hybrid Flex 2026 (MHEV)



Fonte: FIAT, 2025.

O Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) é um tributo federal que incide sobre produtos que passaram por algum processo de industrialização, sejam

eles de origem nacional ou estrangeira. Incide sobre todos os tipos de veículos é definido de acordo com classificações dispostas na tabela de incidência do IPI (TIPI). O Governo federal diminuiu a alíquota sobre os HEV's como pode ser visto em:

Fica alterado, até 31 de dezembro de 2026, o percentual de redução cumulativa das alíquotas do Imposto sobre Produtos Industrializados - IPI, [...] aplicável aos veículos híbridos. (Decreto nº 11.970, 2024)

Outro imposto que acomete os EV's e HEV's é o que incide sobre a importação de carros elétricos. Esse imposto até o ano de 2023 era isento para os EV's e HEV's, mas o Governo Federal, através da resolução GECEX nº 532, de 20 de novembro de 2023, com uma medida que visa desenvolver a cadeia automotiva nacional, instaurou que as alíquotas do Imposto de Importação serão restabelecidas de forma progressiva. Alcançando até o ano de 2026 a alíquota de 35% de imposto (RESOLUÇÃO GECEX Nº 532, 2023).

Existem outras tributações que encarecem os custos para a aquisição destes veículos, mas comumente os custos são superiores para os veículos convencionais movidos a combustíveis fósil, fazendo com que exista, na prática, a ideia de que o carro elétrico se paga com o passar dos anos por conta desses descontos em diversos tributos. Assim, diferentes políticas públicas podem ser ampliadas para que um incentivo para o mercado nacional e internacional seja feito para consolidar o compromisso do Brasil com metas internacionais.

6 DISCUSSÕES

6.1 Veículos elétricos

O EV e o HEV não são tecnologias inovadoras no setor de transporte de pessoas, tendo surgido entre o final do século XIX e início do século XX (WESTBROOK, 2001). Tendo uma queda de demanda, ainda no início do século XX, por diversos fatores que incluem, o perfil de utilização dos novos mercados que precisavam e maiores autonomias e deslocamentos para regiões sem acesso a rede elétrica (Kline, 1996), e as descobertas de novas reservas de petróleo, como a de Spindletop em 1901, que barateou o preço do combustível e potencializou a expansão dos MCI (KAPSTEIN, 1992).

O retorno da aplicação dos EV's e HEV's foi em meados de 1970, por crescentes preocupações com a poluição, o esgotamento de recursos naturais e os impactos da industrialização no meio ambiente, como por exemplo a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em Estocolmo em 1972 (KIRSCH, 1996).

Isso demonstra que a ideia de que os EV's e HEV's são tecnologias inovadoras não é totalmente correta. É mais preciso afirmar que pressões econômicas e sociais foram as principais responsáveis pelo avanço das pesquisas relacionadas a esses veículos, assim como pelo abandono de sua implementação em determinados contextos.

No cenário atual, o Brasil é signatário do Acordo de Paris da UNFCCC e, com isso, comprometeu-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Para atingir as metas estabelecidas, são necessárias mudanças no setor de transporte terrestre, que responde por 8,5% das emissões brasileiras de CO₂ (SEEG, 2025). O crescimento dos EV's e HEV's indicam o início dessa transição: entre 2020 e 2025, o país registrou um aumento de 494mil veículos com algum tipo de eletrificação na frota brasileira. No entanto, eles ainda representam apenas 0,42% do total de automóveis em circulação.

Logo, essa transição não está ocorrendo na velocidade necessária para que a frota brasileira possa efetivamente contribuir com a mudança na matriz energética. Políticas públicas, como isenções de IPVA e outros incentivos fiscais, ainda são insuficientes para atender às expectativas. O estado de São Paulo, por

exemplo, limita-se a isentar apenas veículos híbridos novos, o que demonstra a falta de uma estratégia mais abrangente para atingir também os veículos BEV.

6.2 Impactos Ambientais ligados a bateria do EV e HEV

Os principais impactos associados às baterias estão relacionados ao processo de produção e ao descarte.

No processo de produção, o impacto inicia-se na extração de minerais essenciais, como lítio (Li), níquel (Ni) e cobalto (Co). Para a produção de baterias de alta capacidade, são processadas toneladas de material bruto para obter a quantidade necessária desses elementos (AICHBERGER, 2020). Por exemplo, a bateria de 44,9 kWh do BYD Dolphin GS requer a extração de aproximadamente 25 toneladas de salmoura para obter o lítio necessário (considerando apenas as perdas para se obter lítio a 99,5% de pureza).

Isso levanta a preocupação de que, para veículos maiores e para atender a demanda por maior autonomia, serão necessárias baterias de maior capacidade ou o desenvolvimento de novas tecnologias que otimizem o aproveitamento energético. Para que isso seja viável, é essencial investir em pesquisas que aprimorem a eficiência desses sistemas.

No descarte, os componentes das baterias podem causar ecotoxicidade, acidificação de solos e água, toxicidade humana e poluição atmosférica. Esses impactos variam conforme a composição da bateria e o método de descarte. Processos como pirometalurgia e hidrometalurgia na reciclagem podem mitigar esses efeitos (MALDONADO, 2020).

Além disso, as baterias de veículos elétricos (EV's e HEV's) que perdem capacidade para uso em automóveis (abaixo de 70% da capacidade original) ainda podem ser reaproveitadas em sistemas de armazenamento de energia. Isso estende sua vida útil de 5–8 anos para 12–18 anos (HARAM, 2021), reduzindo o descarte precoce e maximizando sua utilização.

Contudo no Brasil ainda não existe um planejamento central para a gestão específica desses resíduos, o descarte de baterias é regulado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, que incluem as baterias de lítio juntamente com as pilhas alcalinas e baterias chumbo-ácido. Desconsiderando as diferentes dimensões e composições.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal analisar a introdução dos veículos elétricos (EV's) e híbridos (HEV's) como alternativas para a redução dos impactos ambientais no cenário brasileiro, focado na produção, descarte, ciclo de vida das baterias automotivas, impactos ambientais e desafios de implementação. Ao longo da pesquisa, foi possível constatar que os EV's e HEV's representam uma transformação significativa na indústria automotiva, alinhada às demandas globais por sustentabilidade e eficiência energética.

Os EV's e HEV's são essenciais para a descarbonização do transporte, contudo, é fundamental que exista um planejamento estratégico que analise todo o ciclo de vida desses veículos, desde a extração de matérias-primas até o descarte/reciclagem, garantindo que a transição energética seja viável.

Atualmente no Brasil, após essa análise, conclui-se que não exista a infraestrutura necessária para enfrentar os desafios que os EV's e HEV's trarão nos próximos anos. O aumento significativo na frota de veículos eletrificados (494 mil unidades em 5 anos) causará impactos entre 5 e 8 anos, com o fim da vida útil das baterias em carros elétricos. Se isso ocorrer sem que exista um plano de medidas para tratar esses descartes, medidas emergenciais precisarão ser implementadas para mitigar os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado desses componentes.

REFERÊNCIAS

ABVE - Associação Brasileira do Veículo Elétrico. A Associação da eletromobilidade e da economia de baixo carbono. **ABVE**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://abve.org.br/>>. Acesso em: 27 de jul. de 2025.

ADB - Asian Development Bank. The 14th Five-Year Plan of the People's Republic of China - Fostering High-Quality Development. **ADB**, China, 2021. Disponível em: <<https://www.adb.org/publications/14th-five-year-plan-high-quality-development-prc>> . Acesso em: 27 de jul. de 2025.

AICHBERGER, C; JUNGMEIER, G. **Environmental Life Cycle Impacts of Automotive Batteries Based on a Literature Review**. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 13, n. 23, 2020.

ALAVI, N. et al. **Waste electrical and electronic equipment (WEEE) estimation: A case study of Ahvaz City, Iran**. Journal of the Air & Waste Management Association, v. 65, p. 298-305, 2015.

ANDERSON, C.D.; ANDERSON, J. **Electric and Hybrid Cars A History**. Association of College and Research Libraries, v. 48; n. 1, 2010.

ARAL, H.; VECCHIO-SADUS, A. **Lithium: environmental pollution and health effects**. Elsevier. Encyclopedia of Environmental Health, p. 499-508, 2011.

BISPO, S. Q. A.; CECHIN, A. **Veículos elétricos: como a China está se preparando para se tornar a maior potência mundial do segmento?** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, Brasil, 2023.

BLACKRIDGE. Global Top 10 Lithium-ion Battery Recycling Companies of 2025. **BLACKRIDGE**, Índia, 2025. Disponível em: <<https://www.blackridgeresearch.com/blog/list-of-top-global-lithium-ion-li-ion-electric-vehicle-ev-battery-lib-closed-loop-recycling-services-companies-in-the-world>>. Acesso em: 30 de jul. de 2025.

BOWELL. R. et al. **Classification and Characteristics of Natural Lithium Resources**. Elements, v. 16, p.259-264, 2020.

BRASIL. **Decreto nº 11.970**, de 01 de abril de 2024. Altera a Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados - TIPI, aprovada pelo Decreto nº 11.158, de 29 de julho de 2022. Presidência da República, Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d11970.htm> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

BRASIL. **Lei nº 18.065**, de 18 de dezembro de 2024. Altera a Lei nº 13.296, de 23 de dezembro de 2008, que estabelece o tratamento tributário do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores - IPVA. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, SP, 2024. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2024/lei-18065-18.12.2024.html>> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

BRASIL. **Lei nº 25.378**, de 23 de julho de 2025. Altera a Lei nº 14.937, de 23 de dezembro de 2023, dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores - IPVA - e dá outras providências. Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, MG, 2025. Disponível em: <https://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/legislacao_tributaria/leis/l14937_2003.pdf> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

BRASIL. **PL nº 12.305**, de 2025. Disciplina a circularidade de baterias utilizadas em veículos elétricos e institui a Política Nacional de Circularidade das Baterias. Plenário do Senado Federal, Brasília, DF, 2025. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/168417>> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

BRASIL. **RESOLUÇÃO GECEX Nº 532**, de 20 de novembro de 2023. Altera os Anexos V e VI da Resolução Gecex nº 272, de 19 de novembro de 2021. Presidência da República, Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-gecex-n-532-de-20-de-novembro-de-2023-*-524798074> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

BYD. Build Your Dreams (BYD). **BYD**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://www.byd.com/br/car/>>. Acesso em: 27 de jul. de 2025.

BYD. Manual Manutenção e Garantia (Dolphin/Dolphin Plus). **BYD**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://www.byd.com/br/manual-manutencao-garantia>> Acesso em: 08 de ago. de 2025.

CAOA CHERY. Caoa Chery Tiggo 5x pro-hybrid. **CAOA CHERY**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://caoachery.com.br/tiggo5xpro-hybrid-maxdrive>> . Acesso em: 25 de jul. de 2025.

CASTRO, B. H. R.; BARROS, D. C.; VEIGA, S. G. **Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os Veículos elétricos podem transformar o mercado global**. BNDES Setorial, n. 37, p. 443-496, Rio de Janeiro, 2013.

CHRISPIM, M. C; DE SOUZA, J. F. T.; SIMÕES, A. F. **Avaliação comparativa entre Veículos elétricos e veículos convencionais no contexto de mitigação das mudanças climáticas**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 8, n. 1, p. 127-148, 2019.

CREADY, E. **Technical and Economic Feasibility of Applying Used EV Batteries in Stationary Applications**. Sandia National Laboratories, EUA, 2003.

DA SILVA, A. C. A. C.; PIZZOLATO N. D. **Utilização de Veículos elétricos no transporte de carga e os desafios para implementação no Brasil**. Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (ANPPAS), v. 25, 2022.

DARMAWAN, H. et al. **Product development strategy with quality function deployment approach: A case study in automotive Battery**. Growing Science, v. 7, n. 12, p. 601-610, Canadá, 2017.

ECOLEX. Interim Measures for the Management of Recovery and Utilization of New Energy Vehicle Power Battery. **ECOLEX**. China, 2018. Disponível em: <<https://www.ecolex.org/details/legislation/interim-measures-for-the-management-of-recovery-and-utilization-of-new-energy-vehicle-power-battery-lex-faoc173695/>> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

EUA. 40 CFR. **CODE OF FEDERAL REGULATIONS (CFR)**. EUA, 2025. Disponível em: < <https://www.ecfr.gov/current/title-40>> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

FIAT. Fiat Pulse. **FIAT**, Brasil, 2025. Disponível em: < <https://pulse.fiat.com.br/versoes/audace-hybrid-1.0-at/>> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

FIORILLO, C. A. P. **Veículos elétricos ou veículos movidos a gasolina? A extração do lítio por parte das empresas transnacionais em face do direito ambiental constitucional brasileiro**. Novos Estudos Jurídicos, v. 27, n. 2, 2022.

FRACALOSSO, L, G, V.; DOS SANTOS. W, M. **Frenagem regenerativa na indústria: um estudo de caso em pontes rolantes**. Brazilian Journal of Development, v.7, n. 5, 2021.

GEELS, F. W. **The dynamics of transitions in socio-technical systems: A multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860–1930)**. Technology Analysis & Strategic Management, v. 17, n. 4, p. 445-476, 2005.

GIOSUÈ, C. et al. **An Exploratory Study of the policies and Legislative Perspectives on the End-of-Life of Lithium-Ion Batteries from the Perspective of Producer Obligation**. Sustainability, v.13, n. 20, 2021.

GRANDHI, S P.; DAGWAR, P. P.; DUTTA, D. **Policy pathways to sustainable E-waste management: A global review**. Journal of Hazardous Materials Advances, v. 16, 2024.

HARAM, M. H. S. M. et al. **Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges**. Alexandria Engineering Journal, v. 60, p. 4517-4536, 2021.

HAUSBRAND. R. et al. **Fundamental degradation mechanisms of layered oxide Li-ion battery cathode materials: Methodology, insights and novel approaches**. Elsevier, Materials Science and Engineering B, v.192, p. 3-25, 2015.

HAWKINS, T. R. et al. **Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles**. Journal of Industrial Ecology, v. 17, n. 1, p. 53-64, 2013.

IEA - The International Energy Agency. Batteries and Secure Energy Transitions. **Technology Roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles**. International Energy Agency (IEA), Paris, 2011.

IEA - The International Energy Agency . Material content in different anode and cathodes. **IEA**, França, 2023. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/material-content-in-different-anode-and-cathodes/>> . Acesso em: 27 de jul. de 2025.

IEA - The International Energy Agency. Batteries and Secure Energy Transitions. **IEA**, Paris, França, 2024. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions>>. Acesso em: 30 de jul. de 2025.

IEA - The International Energy Agency. Batteries and Secure Energy Transitions. Global EV Outlook 2025. **International Energy Agency (IEA)**, Paris, 2025. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/>> . Acesso em: 25 de jul. de 2025.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM VEICULAR (PBEV) 2024. **INMETRO**, Brasil, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2024-1.pdf/>> . Acesso em: 25 de jul. de 2025.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM VEICULAR (PBEV) 2025. **INMETRO**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/mascara-pbev-2025-mar-11.pdf/>> . Acesso em: 25 de jul. de 2025.

INSIDEEV'S. PAIOLA, A. GM EV1, o primeiro carro 100% elétrico 'quase' produzido em massa. **INSIDEEV'S**, Brasil, 2022. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/news/584761/gm-ev1-primeiro-carro-eletrico/>>. Acesso em: 13 de mar. de 2025.

ISLAMEKA, M. et al. **Energy management systems for battery electric vehicles**. Emerging Trends in Energy Storage Systems and Industrial Applications, p. 113-150, 2023.

KAPSTEIN, E. B. **The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power**. By **Daniel Yergin**. Simon & Schuster, Journal of American History, v. 79, n. 1, New York, 1992.

KIRSCH, D. A. **The electric car and the burden of history: studies in automotive systems rivalry in America, 1890–1996**. Stanford University, Department of History, 1996.

KNAUF INDUSTRIES. Noções básicas de bateria. **KNAUF INDUSTRIES**, Brasil, 2020. Disponível em: <<https://knaufautomotive.com/pt-br/noco-es-basicas-de-bateria-eletrica/>> . Acesso em: 27 de jul. de 2025.

KNOWLES, M.; MORRIS A. **Impact of second life electric vehicle batteries on the viability of renewable energy sources**. British Journal of Applied Science & Technology, v. 4, n. 1, p. 152-167, 2014.

LOWE, M.; TOKUOKA, S.; TRIGG, T.; GEREFFI, G. **Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles: the U.S. Value Chain**. Duke University, EUA, 2010.

LUCHESI. Peças BYD Dolphin. **LUCHESI**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://salvadorluchesi.mercadoshops.com.br/>> . Acesso em: 25 de jul. de 2025.

MAHMOOD, Y. et al. **Sustainable management of alkaline battery waste in developing countries by waste reduction and metal recovery development: A cost-benefit study based on waste flow analysis to select the optimum scenario**. Arabian Journal of Chemistry, v. 16, n. 10, 2023.

MALDONADO, E. Q. et al. **Possibilities and challenges for ionic liquids in hydrometallurgy**. Separation and Purification Technology, v. 251, 2020.

MINH, P. V.; QUANG, S. L.; PHAM, M. H. **Technical economic analysis of photovoltaic-powered electric vehicle charging stations under different solar irradiation conditions in Vietnam**. Sustainability, v. 13, n. 6, 2021.

MOM, G. **The electric vehicle: technology and expectations in the automobile age**. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2004.

MURATALLA, V. O. V. et al. **Review of Lithium as a Strategic Resource for Electric Vehicle Battery Production: Availability, Extraction, and Future Prospects**. Resources, v. 13, n. 148, 2024.

NCBI - NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. **PubChem Annotation Record for, 1,4-Dichlorobenzene**. Hazardous Substances Data Bank (HSDB), 2024. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>> . Acesso em: 27 de jul. de 2025.

OILINCAR. Choose Oil by Car Toyota Prius. **OILINCAR**. EUA, 2013. Disponível em: <<https://oilincar.com/pt/toyota/prius/1-1997-2003.php/>>. Acesso em: 27 de jul. de 2025.

PORTUGAL. Decreto-Lei n.º 152-D/2017. **DIÁRIA DA REPÚBLICA**. Portugal, 2017. Disponível em: <<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/152-d-2017-114337042>> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

POUIKLI, K. **Concretising the role of extended producer responsibility in European Union waste law and policy through the lens of the circular economy.** ERA Forum, v. 20, n. 4, p. 491-508, 2020.

QUIROGA, K. E. R.; VARGAS J. F. N.; MARULANDA, G. **Impactos técnicos y económicos para comercializadores de electricidad debido a la implementación de vehículos eléctricos en Colombia/technical and economical impacts for marketers due to the implementation of electric vehicles in colombia/impactos técnicos e económicos para comercializadores de eletricidade devido a implantação de veículos elétricos na colombia.** Revista Ingenierías, Medellín, Colômbia, 2019.

REINHARDT, R. et al. **Towards sustainable business models for electric vehicle battery second use: A critical review.** Elsevier BV, Journal of Environmental Management, v. 245, 2019.

REINHART, L. et al. **Pyrometallurgical recycling of different lithium-ion battery cell systems: Economic and technical analysis.** Elsevier BV, Journal of Cleaner Production, v. 416, 2023.

RENAULT. Renault. **RENAULT**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://www.renault.com.br/>>. Acesso em: 27 de jul. de 2025.

RENAULT. Renault Kwid. **RENAULT**, Brasil, 2025. Disponível em: <https://cdn.group.renault.com/ren/br/renault-new-cars/editorial/2025/catalogo/abril/AF_RMA002525_Catalogo_Kwid.pdf.asset.pdf/3d3853313e.pdf> . Acesso em: 25 de jul. de 2025.

RENAULT. Renault Kwid E-tech. **RENAULT**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://www.renault.com.br/veiculos-eletricos/kwid-e-tech-electric.html>> . Acesso em: 25 de jul. de 2025.

ROSENMAN, A. et al. **Review on Li-Sulfur Battery Systems: an Integral Perspective.** Wiley, Advanced Energy Materials, v. 5, n. 16, 2015.

SANTOS, M. M. D. **Veículos elétricos e híbridos: Fundamentos, Características e Aplicações.** Editora Érica, 2020.

SAURE, H. W. Deutsche Feuerwehr fuhr schon 1902 mit E-Autos. **Build**, Alemanha, 2025. Disponível em: < <https://www.bild.de/leben-wissen/auto/elektromobilitaet-feuerwehr-fuhr-schon-vor-120-jahren-mit-e-autos-681a145ec956e61cc27aef2f>>. Acesso em: 25 de jul. de 2025.

SCHIEBER, D. **Electromagnetic induction phenomena.** Springer series in electrophysics, v. 16, 1986.

SENATRAN - Secretaria Nacional de Trânsito. Frota de Veículos. **SENATRAN**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/>> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

SERRAO, L.; ONORI, S.; RIZZONI, G. **A Comparative Analysis of Energy Management Strategies for Hybrid Electric Vehicles**. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, v. 133, n. 3, 2011.

SILVA, A. T. da. **Viabilidade do uso de solvente eutético para dissolução seletiva de cobalto e lítio oriundo de baterias íon-lítio descartadas**. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2022.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Plataforma de monitoramento de emissões de gases de efeito estufa na América. **SEEG**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br/>>. Acesso em: 27 de jul. de 2025.

SOUZA, Z. **Elementos de máquinas térmicas**. Rio de Janeiro: Campus, 1980.

SQM. Procesos de producción. **SQM**, Chile, 2025. Disponível em: <<https://www.sqm.com/acerca-de-sqm/recursos-naturales/proceso-de-produccion/>> . Acesso em: 27 de jul. de 2025.

STOPFER, N. et al. **A Mobilidade Elétrica na América Latina tendências, oportunidades e desafios**. Fundação Konrad Adenauer, GESEL, Rio de Janeiro, 2021.

SUGAHARA, C. et al. **Mudanças Climáticas e Veículos Elétricos: Alternativas para o Desenvolvimento Sustentável**. Revista de Empreendedorismo, Negócios e Inovação, v. 7, n. 1, p. 26–50, 2022.

TOYOTA. Toyota. **TOYOTA**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://www.toyota.com.br/>>. Acesso em: 27 de jul. de 2025.

UE. Regulamento (UE) 2023/1542. **LEX**, EU, 2023. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj?locale=pt>> . Acesso em: 30 de jul. de 2025.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again)**. UNEP, Nairobi, 2023.

US GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2025**. USGS, v. 1.2, p. 110-111, EUA, 2025.

VAZ, L. F. et al. **Sugestões de políticas públicas para o segmento**. BNDES Setorial, n. 41, Rio de Janeiro, 2015.

WANG, D. et al. **Quantifying electric vehicle battery degradation from driving vs. vehicle-to-grid serviceso**. Elsevier BV, Journal of Power Sources, v. 332, p. 193-203, 2016.

WESTBROOK, M. H. **The Electric Car: Development and Future of Battery, Hybrid and Fuel-cell Cars**. Institute of Engineering & Technology, 2001.

WISE. Transformadores Eléctricos. **WISE**, Brasil, 2025. Disponível em: <<https://www.wisetransformadores.com.br/>> . Acesso em: 25 de jul. de 2025.

ZHANG, Y. et al. **Systematic review of lithium extraction from salt-lake brines via precipitation approaches**. Elsevier BV, Minerals Engineering, v.139, 2019.