



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA

**Desafios para a disseminação da mobilidade elétrica no
cenário brasileiro: uma abordagem regulatória e
econômica**

YASMIN EMILY DE SOUZA OLIVEIRA

São Luís - MA
2023

YASMIN EMILY DE SOUZA OLIVEIRA

Desafios para a disseminação da mobilidade elétrica no cenário brasileiro: uma abordagem regulatória e econômica

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica na área de concentração de Sistemas de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Denisson Queiroz Oliveira
Coorientador: Prof. Dr. Osvaldo Ronald Saavedra Mendez

São Luís - MA
2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Oliveira, Yasmin Emily de Souza.

Desafios para a disseminação da mobilidade elétrica no cenário brasileiro: uma abordagem regulatória e econômica / Yasmin Emily de Souza Oliveira. - 2023.
92 f.

Coorientador(a): Osvaldo Ronald Saavedra Mendez.

Orientador(a): Denisson Queiroz Oliveira.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2023.

1. Custo Total de Propriedade. 2. Mobilidade Elétrica. 3. Políticas Públicas. 4. Regulação. 5. Veículos Elétricos. I. Mendez, Osvaldo Ronald Saavedra. II. Oliveira, Denisson Queiroz. III. Título.

Desafios para a disseminação da mobilidade elétrica no cenário brasileiro: uma abordagem regulatória e econômica

Prof. Denisson Queiroz Oliveira, Dr., UFMA
(Orientador)

Prof. Osvaldo Ronald Saavedra Mendez, Dr., UFMA
(Coorientador)

Prof. Antonio Carlos Zambroni de Souza, Dr., UNIFEI
Membro Externo da Banca

Prof. Pedro Bezerra Leite Neto, Dr. UFMA
Membro Interno da Banca

Dedico este trabalho aos meus pais, Antonia Eleneide de Souza Medeiros e Francisco Egídio Barra de Oliveira. Sou-lhes grata pelo exemplo de coragem, resiliência e determinação.

AGRADECIMENTOS

O momento dos agradecimentos é o momento para refletir sobre toda caminhada percorrida para chegar até aqui. Com isso, eu agradeço primeiramente à Deus, por ter me dado forças para enfrentar essa caminhada árdua que é a dupla jornada.

Aos meus pais, Egídio e Eleneide, por serem a minha referência de honestidade e resiliência, por serem os meus pilares da vida, e por lembrar sempre quem eu sou, de onde eu vim e aonde eu quero chegar.

Ao meu marido, por ter sido o meu apoio, pela parceria e companheirismo em toda essa caminhada.

Ao meu orientador, o professor Denisson, pela paciência, empatia, cuidado, apoio e por acreditar no meu potencial, mesmo quando eu descreditei.

Ao meu coorientador, o professor Osvaldo, pelos ensinamentos e direcionamentos assertivos na minha trajetória acadêmica.

Aos meus amigos de mestrado, o Rafael e a Aline, pelas madrugadas divertidas e sofridas de estudo, pelo apoio e motivação diária.

Ao meu gestor Leonardo Eustáquio, por me incentivar sempre para o caminho do conhecimento e aprendizado, ser uma referência pessoal e profissional e me ensinar que desistir não é uma opção.

As minhas irmãs, Ingrid e Ester. A minha tia Zenaide e a minha falecida Vovó Salete, por ter sonhado esse sonho junto comigo.

Gratidão à todas as pessoas que passaram pela minha vida, a cada palavra de conforto, a cada abraço e motivação. Apenas gratidão.

RESUMO

O processo de transição energética ganhou notoriedade em diversos países desenvolvidos em razão da problemática causada pelas emissões decorrentes do uso de combustíveis fósseis no setor de transportes. Outros fatores alavancadores deste processo estão na escassez dos recursos e na volatilidade dos preços dos combustíveis derivados de petróleo. Neste contexto, o segmento dos veículos elétricos e a eletrificação da frota de transporte é apresentado como uma solução promissora para esta problemática. No entanto, o sucesso da implementação de uma nova tecnologia depende das características do ambiente ao qual será instalado. No Brasil, a inserção dos veículos elétricos no mercado nacional está avançando em um ritmo lento em relação aos principais mercados globais de eletromobilidade em virtude dos desafios que envolvem o processo de adoção da mobilidade elétrica no país. Este trabalho aborda os principais desafios atrelados à inserção e disseminação dos veículos elétricos no setor energético brasileiro e fomenta a discussão a respeito do impacto na viabilidade econômica para os consumidores causado pelas políticas públicas e o papel regulatório do Estado brasileiro para a implementação desta tecnologia, através da análise do custo total de propriedade (TCO), das oportunidades, das barreiras à luz das peculiaridades e do contexto vigente no país, dado a constatação da grande diferença entre a participação dos veículos elétricos no mercado mundial e no Brasil.

Palavras-chave: Veículos Elétricos, Custo Total de Propriedade, Mobilidade Elétrica, Regulação, Políticas Públicas.

ABSTRACT

The energy transition process gained notoriety in several developed countries due to the problem caused by emissions resulting from the use of fossil fuels in the transport sector. Other leveraging factors in this process are the scarcity of resources and the volatility of the prices of petroleum-derived fuels. In this context, the electric vehicle segment and the electrification of the transport fleet is presented as a promising solution to this problem. However, the success of implementing a new technology depends on the characteristics of the environment in which it will be installed. In Brazil, the insertion of electric vehicles in the national market is advancing at a slow pace in relation to the main global electromobility markets due to the challenges involved in the process of adopting electric mobility in the country. This work addresses the main challenges linked to the insertion and dissemination of electric vehicles in the Brazilian energy sector and encourages discussion about the impact on economic viability for consumers caused by public policies and the regulatory role of the Brazilian State for the implementation of this technology, through of the analysis of the total cost of ownership (TCO), opportunities and barriers in light of the peculiarities and current context in the country, given the observation of the great difference between the participation of electric vehicles in the world market and in Brazil.

Keywords: Electric Vehicles, Total Cost of Ownership, Electric Mobility, Regulation, Public Policy.

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 - Modelo da estrutura fluxo da rede elétrica inteligente	5
Figura 2 - Evolução das vendas mundiais de veículos elétricos entre 2016-2023	8
Figura 3 - Países líderes em vendas ou matrículas de veículos novos, de todas as categorias (2019).....	9
Figura 4 – Registro de veículos eletrificados (VEs) no Brasil de 2012-2022.....	9
Figura 5 - Licenciamento total de automóveis e comerciais leves por combustível do ano de 2022 no Brasil.	10
Figura 6 - Configurações principais dos veículos elétricos.....	11
Figura 7 – Comparação de preço de veículos no Brasil	13
Figura 8 – Histórico de preços dos metais das baterias entre 2010-2023	14
Figura 9 – Histórico de venda de veículos elétricos no mundo.....	14
Figura 10 – Participação dos tributos sobre automóveis no preço ao consumidor por países	16
Figura 11 - Sistema V2G básico.....	19
Figura 12 - Sistema V2H.....	20
Figura 13 - Sistema V2B	20
Figura 14 - Sequência temporal das normas e regulamentações segundo a mobilidade elétrica.....	22
Figura 15 – Relação entre Normas e Regulamentações	30
Figura 16 – Composição e Idade Média da Frota Circulante de Veículos por região geográfica.....	43
Figura 17 – Preço Médio de Revenda da Gasolina Comum no Brasil entre 2013 - 2022..	44
Figura 18 – Custos de Manutenção Periódica dos Veículos avaliados no trabalho	45
Figura 19 – Participação dos tributos nacionais sobre os veículos analisados neste trabalho	45
Figura 20 – Participação dos tributos de IPVA sobre os veículos analisados neste trabalho	46
Figura 21 – Procedimento Metodológico aplicado na pesquisa.....	47
Figura 22 – Percentual da Composição dos custos para modelos e tecnologia de veículos	54
Figura 23 – Comparativo do TCO do veículo modelo A – Cenário Base.....	55
Figura 24 – Comparativo do TCO do veículo modelo B – Cenário Base.....	55

Figura 25 – Comparativo de cenários de TCO do veículo modelo A	57
Figura 26 – Comparativo de cenários de TCO do veículo modelo B	58
Figura 27 – TCO do veículo modelo A no cenário BREV30	59
Figura 28 – TCO do veículo modelo B no cenário BREV30.....	60
Figura 29 – Equalização de TCO entre cenários avaliados.....	60

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1 – Taxas de descontos aplicadas na literatura para cálculo de TCO.	37

LISTA DE QUADROS

Páginas

Quadro 1 – Impactos sociais decorrentes da transição da mobilidade elétrica	7
Quadro 2 - Processo de normatização da eletromobilidade	24
Quadro 3 - Políticas Governamentais para VEs.....	26
Quadro 4 – Regulamentação e Regulação para a mobilidade elétrica no Brasil.....	31
Quadro 5 – Normas para a mobilidade elétrica no Brasil	32
Quadro 6 – Iniciativas para a mobilidade elétrica no Brasil	33
Quadro 7 – Descrição Metodológica dos Estudos sobre TCO no âmbito da mobilidade elétrica	39
Quadro 8 – Composição dos Custos para cada categoria de análise do TCO.....	42
Quadro 9 – Literaturas Acadêmicas que abordam o tema de regulação e políticas públicas no Brasil	48
Quadro 10 – Categoria das propostas de regulação e políticas públicas.....	49
Quadro 11 – Resumo das propostas de regulação e políticas públicas para mobilidade elétrica no Brasil	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABVE	Associação Brasileira de Veículos Elétricos
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BEV	Veículo Elétrico a Bateria (<i>Battery Electric Vehicle</i>)
CA	Corrente Alternada
CBO	Classificação Brasileira de Ocupação
CC	Corrente Contínua
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
DOD	Profundidade de descarga (<i>Depth of discharge</i>)
EREV	Veículos Elétricos de longo alcance (<i>Extended Range Electric Vehicles</i>)
FCEV	Veículos Elétricos a Célula de Combustível (<i>Fuel Cell Electric Vehicles</i>)
FENABRAVE	Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores
FUNDEP	Fundação de Desenvolvimento e Pesquisa
GEE	Gases de Efeito Estufa
HEV	Veículos Elétricos Híbridos (<i>Hybrid Electric Vehicles</i>)
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	Agência Internacional de Energia (<i>International Energy Agency</i>)
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
II	Imposto de Importação
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
ISO	Operador Independente do Sistema (<i>Independent System Operator</i>)
MCI	Motor de Combustão Interna
NBR	Norma Brasileira
NIST	Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (<i>National Institute of Standards and Technology</i>)
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PHEV	Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicles</i>)
PIS	Programa de Integração Social
PNME	Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PROMOB-e	Projeto Sistemas de Propulsão Eficiente
REN	Resolução Nacional

RISE	Rede de Inovação no Setor Elétrico
SEFAZ	Secretaria da Fazenda
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SG	<i>Smart Grids</i>
TCO	Custo Total de Propriedade (<i>Total Cost Owership</i>)
V2G	Veículo à rede (<i>Vehicle-to-grid</i>)
VAT	Imposto sobre o valor agregado
VCI	Veículos com motor de Combustão Interna
VE	Veículos elétricos
VPL	Valor Presente Líquido
VPP	Usinas de Energia Virtual (<i>Virtual Power Plant</i>)

LISTA DE SÍMBOLOS

C_A	Custo de aquisição do veículo
V_R	Valor Residual
C_{MAN}	Custo de Manutenção
i	Taxa de desconto
n	Período
N	Período total considerado para realizar a análise
FC	Fluxos de Caixa líquido
C_C	Custo de Capital
C_O	Custo Operacional
C_{inf}	Custo de Infraestrutura de Recarga Residencial
C_{CO_2}	Custo Social do Carbono

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo geral	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
1.2. Justificativa.....	2
1.3. Contribuições do trabalho.....	3
1.4. Estrutura do trabalho	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. <i>SMART GRIDS</i>	4
2.2. Veículos elétricos e eletromobilidade.....	6
2.2.1 Desafios para disseminação da eletromobilidade.....	12
2.3. Panorama global da regulação da mobilidade elétrica.....	21
2.4. Políticas públicas e medidas de incentivo internacionalmente.....	26
2.5. Cenário regulatório e de Políticas Públicas Nacionais	30
3. METODOLOGIA.....	36
3.1. Métodos para análise econômica	36
3.2. Métodos para análise regulatória e de políticas públicas.....	47
4. RESULTADOS	49
4.1. Análise Regulatória e de Políticas Públicas no âmbito nacional	49
4.1.1. Meio ambiente.....	50
4.1.2. Infraestrutura	50
4.1.3. Mercado.....	51
4.1.4. Propostas de Regulação e Políticas Públicas para o Brasil	51
4.2. Análise Econômica da Mobilidade Elétrica no Brasil	52
4.2.1. Resultados Obtidos - Cenário Base	54
4.2.2. Resultados Obtidos - Cenário BREV30	58
5. CONCLUSÕES	62
5.1. Sugestões para trabalhos futuros.....	63
5.2. Artigos e Capítulos publicados associados a dissertação	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
6. APÊNDICE	72

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável e o uso de tecnologias verdes vêm sendo pautas de discursos globais para possibilitar a preservação e manutenção do meio ambiente (HELBIG, 2018). Estes, por sua vez, têm sido frequentemente associados à chamada transição energética, caracterizada especialmente pela descarbonização das matrizes energéticas em resposta à questão das mudanças climáticas, pela descentralização dos recursos energéticos e pela maior digitalização na produção e uso da energia (EPE, 2020).

O processo de transição energética também ganhou força devido às preocupações com as oscilações de preços dos combustíveis fósseis e as suas reservas limitadas, uma vez que são recursos naturais não-renováveis, podendo prejudicar a segurança no fornecimento de energia no futuro. Neste cenário, os veículos elétricos (VEs) surgiram como uma das opções mais promissoras para auxiliar no desenvolvimento sustentável (CRABTREE, 2019).

Do ponto de vista tecnológico, os veículos elétricos apresentam uma maior eficiência energética e emitem menos poluentes durante seu funcionamento. O acelerado desenvolvimento tecnológico tem possibilitado uma constante redução de custos, em especial das baterias, que representam cerca de 40% do custo inicial de um veículo elétrico a bateria (AHUJA et. al., 2020). A tendência de diminuição dos custos, observados ao longo dos anos, causam impactos positivos na acessibilidade dos veículos elétricos (JONES et. al., 2020).

A crescente expansão mundial no uso dos veículos elétricos, bem como as suas particularidades de recarga e conexão com o sistema elétrico, causam um aumento de carga a ser atendida pela rede de distribuição e pode causar problemas à segurança do sistema. Com isto, a necessidade de planejamento adequado do setor elétrico para conseguir atender a demanda se torna indispensável (EPE, 2020). Além dos desafios tecnológicos, outros desafios com fins econômicos, políticos e regulatórios de incentivo à mobilidade elétrica precisam ser investigados (JONES et. al., 2020).

O processo de transição para inserção de novas tecnologias envolve ameaças ao modelo de negócio dominante, que pode exercer resistência às inovações (KUNGL et. al., 2018). Nesses casos, a regulação teria a função de instrumentalizar a pacificação deste ambiente, além de subsidiar, estruturar e formatar as políticas públicas que são fundamentais para direcionar a atuação de todos os elementos estruturantes de um sistema de inovação

(VERBONG *et.al.*, 2010).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Este trabalho se propõe a trazer uma revisão literária sobre os desafios atrelados a inserção e disseminação dos veículos elétricos (VEs) na matriz energética brasileira através do estudo do arcabouço regulatório nacional vigente, das políticas públicas e medidas de incentivo implementadas mundialmente, bem como da avaliação econômica para aquisição desta tecnologia, sob o ponto de vista do consumidor brasileiro.

1.1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Realizar uma revisão da literatura sobre o conceito de *Smart Grids*, veículos elétricos e sobre os desafios para inserção dos veículos elétricos na rede de distribuição elétrica;
- Realizar uma revisão da literatura sobre a implementação da tecnologia *vehicle-to-grid* (V2G);
- Incentivar a pesquisa nacional e local para planejamento do setor elétrico com o advento e popularização dos veículos elétricos;
- Avaliar o custo total de propriedade para aquisição dos veículos elétricos no Brasil, considerando o contexto vigente de mercado e de incentivos para essa tecnologia no ano corrente do estudo;
- Apresentar um modelo regulatório e de políticas públicas adequado para a disseminação da mobilidade elétrica no Brasil contemplando a viabilidade econômica para aquisição dos veículos elétricos no contexto nacional.

1.2. Justificativa

Este trabalho nasce da defasagem do arcabouço regulatório e de políticas de incentivo brasileiro, comparativamente ao âmbito internacional, com relação a disseminação e popularização dos veículos elétricos como uma alternativa sustentável no setor dos transportes. Com isto, há a necessidade de incentivar a pesquisa nacional para apoiar na

criação de um ambiente propício à disseminação da mobilidade elétrica para indivíduos, empresas e o setor público no Brasil, bem como, incentivar a exploração de novos modelos de negócio e tecnologias proporcionados pela mobilidade elétrica.

1.3. Contribuições do trabalho

Tendo em vista o papel da regulação e das políticas públicas em ser um agente de incentivo para a disseminação dos veículos elétricos na matriz energética brasileira, são apresentados os seguintes questionamentos: Qual seria a regulação e política pública adequada para o desenvolvimento da mobilidade elétrica no Brasil? Qual o impacto da regulação e das políticas de incentivo para a disseminação dos veículos elétricos no Brasil?

Sob o ponto de vista financeiro do consumidor: O maior custo de capital dos veículos elétricos (VEs) é compensado por menores custos de funcionamento? O momento atual da mobilidade elétrica no Brasil é ideal para se adquirir um veículo elétrico? Este trabalho busca trazer argumentos que respondam a estas perguntas, bem como incentivar o interesse nacional para a reflexão da mobilidade elétrica no cenário brasileiro.

1.4. Estrutura do trabalho

Este trabalho se divide em cinco capítulos organizados da seguinte maneira:

No capítulo 1 realiza uma breve apresentação sobre o contexto nacional da mobilidade elétrica, assuntos introdutórios e a motivação acerca do trabalho.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica que norteia o estudo deste trabalho, abordando os conceitos básicos sobre as redes inteligentes (Smart Grids) e os veículos elétricos, explorando a sua tipologia e desafios para disseminação no Brasil, com destaque a tecnologia *Vehicle-to-grid* (V2G). É abordado também, os cenários regulatórios de políticas públicas implementados no Brasil e no mundo.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia adotada para realizar a análise de viabilidade econômica para a disseminação dos veículos elétricos no Brasil, na visão do consumidor, além de explorar a fundamentação metodológica acerca das análises regulatórias e de políticas públicas para implementação nacional.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos das análises realizadas.

No capítulo 5 está a conclusão do trabalho e as sugestões para atividades futuras.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

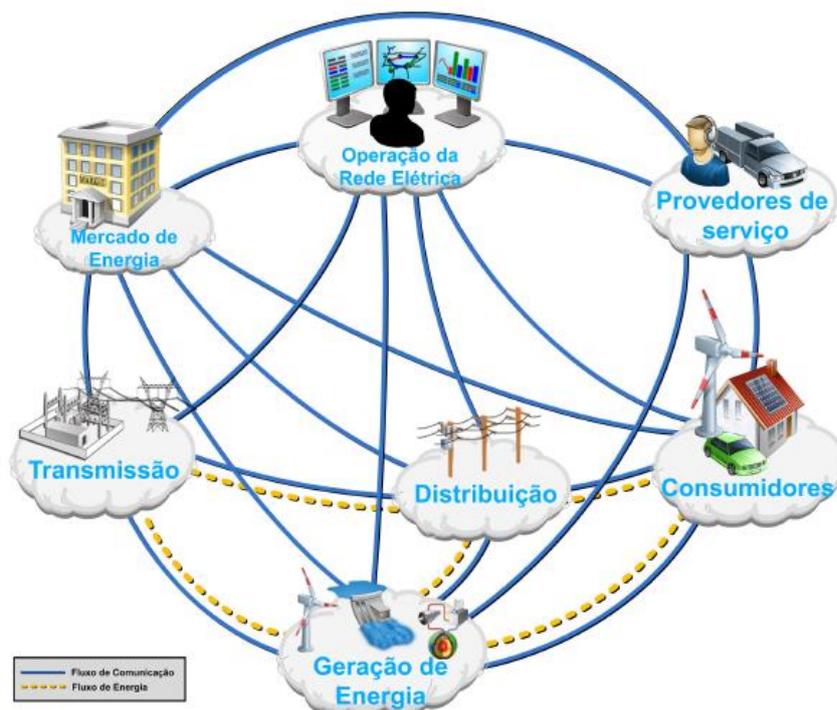
Neste capítulo são apresentados os fundamentos teóricos que norteiam o estudo para a disseminação da mobilidade elétrica, com uma abordagem desde os conceitos básicos do tema, até os desafios e panoramas nacionais e internacionais para popularização da tecnologia.

2.1. SMART GRIDS

O sistema elétrico de potência (SEP) é o conjunto de todas as instalações e equipamentos destinados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Com a presença de geração distribuída de energia elétrica, o advento de novas tecnologias e o crescimento das cargas, tornou-se necessário o desenvolvimento e aplicação de novos métodos e ferramentas de análise e solução para os problemas inerentes ao planejamento, operação e manutenção destes sistemas. Todas estas mudanças estão levando a modificação de paradigmas no desenvolvimento e evolução dos sistemas elétricos, com o intuito de garantir a segurança do suprimento de energia elétrica aos consumidores, desenvolver e implantar novas fontes de energia renovável, além de promover a eficiência energética do sistema (BICHELS, 2018).

Para apoiar nesta evolução, surgem as *Smart Grids* (SG) ou redes elétricas inteligentes, que de acordo com Fang *et al.* (2012) são um sistema que usa tecnologias de computação e comunicação com o objetivo de modernizar o seu próprio sistema de geração, transmissão e distribuição de energia, utilizando um fluxo bidirecional de dados e energia, gerando, dessa maneira, uma rede elétrica mais avançada e automatizada. Logo, *Smart Grids* é um termo usado para designar a interação dos sistemas de informação e comunicação ao sistema de energia elétrica com o intuito de tornar o SEP mais eficiente e mais sustentável (FELIX, 2021). Na Figura 1 é apresentada a estrutura do fluxo de energia e dados de uma SG criada pela NIST, agência governamental do departamento de comércio dos Estados Unidos.

Figura 1 - Modelo da estrutura fluxo da rede elétrica inteligente



Fonte: Adaptado NIST, 2020.

Os sistemas SG ainda possuem muitos desafios para a sua implementação, sejam estes desafios referentes ao custo de implementação e modernização de todo o sistema, balanceando com o desempenho e as vantagens pretendidas, ou desafios de ordens técnicas como a transmissão e controle sobre os fluxos de energia e dados na rede. Entretanto, as vantagens que a SG possibilita são, sem dúvidas, motivos determinantes para a sua implementação em grande escala e em curto espaço de tempo (SILVA, 2021). Para Fang *et al.* (2012) as principais vantagens das *Smart Grids* são:

- Melhoria da qualidade e confiabilidade da energia elétrica;
- Otimização da capacidade e eficiência das redes elétricas existentes;
- Melhoramento da resiliência a faltas;
- Revisão preditiva e autorrecuperação em situação de falhas e distúrbios da rede;
- Favorecer a implantação de fontes renováveis de energia elétrica;
- Geração de oportunidades de melhoria a segurança da rede;
- Possibilidade de produtos novos, serviços e mercados;
- Diminuição da emissão de gases poluentes por meio da acomodação dos veículos elétricos e fontes alternativas de energia;

- Proporcionar a transição para os veículos elétricos e novas alternativas para armazenamento de energia.

Dentro desse cenário de conectividade e energia, a mobilidade elétrica deve ser encarada como uma perspectiva promissora na expansão da SG, pois a conexão de veículos elétricos à rede requer um sistema elétrico com automação avançada mais inteligente e com uma enorme capacidade de sensoriamento e processamento de dados para garantir a segurança e sustentabilidade do sistema elétrico de potência (GHRAVI; GHAFURIAN, 2011; CORRÊA, 2018; BICHELS, 2018).

2.2. Veículos elétricos e eletromobilidade

As discussões e medidas para implementação dos veículos elétricos (VE) como uma opção promissora na indústria automotiva iniciou a partir da década de 1970, em decorrência da crise do petróleo, quando a sociedade percebeu a forte dependência das fontes fósseis de energia e surgiu uma conseqüente preocupação na diversificação dessas fontes. De forma mais incisiva, especialmente a partir dos anos 2000, este movimento passou a ganhar mais tração, demonstrando metas e instrumentos mais direcionados à mobilidade elétrica (BARASSA *et. al.*, 2020).

Em 2016, a Organização das Nações Unidas (ONU) propôs aos líderes mundiais 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A mobilidade elétrica tem especial foco no número 7, voltado a levar energia acessível e limpa para todos, e o ODS 13, que busca tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos. Neste cenário norteado pela pressão e busca pela eficiência energética, redução da emissão de poluentes dos meios de transporte, diminuição da dependência dos combustíveis fósseis, os veículos elétricos surgem como uma solução favorável a esta problemática.

De acordo com a ABNT (2013) um veículo elétrico é todo veículo movido por um motor elétrico, alimentado por uma bateria recarregável ou por outros dispositivos de armazenamento de energia elétrica, geralmente, recarregados por estações públicas de carregamento ou estações residenciais. Para a ABVE (2017) os veículos elétricos são definidos como veículos automotores que usam pelo menos um motor elétrico para acionamento das rodas. Eles são caracterizados por possuírem uma alta eficiência energética e nível de emissões de gases poluentes e de ruídos baixo ou até nulo.

De acordo com Mi *et al.* (2011) uma característica importante dos VEs é a alta eficiência energética, uma vez que todo o procedimento de conversão de energia (da bateria às rodas) tem

um rendimento de cerca de 70% em comparação com os 5 e 10% dos veículos de combustão interna. O principal fator que contribui para a alta eficiência dos VEs é o alto rendimento do motor elétrico, que chega a mais de 90%, enquanto o de um motor de combustão interna gira em torno de 35%, e isso se dá devido às muitas perdas energéticas durante a sequência de motor, câmbio, transmissão e rodas, enquanto o motor elétrico possui um rotor acionado por um campo magnético constante que transforma a energia elétrica em energia mecânica, a qual coloca em movimento o rotor que está ligado na transmissão das rodas.

O desenvolvimento da transição para a mobilidade elétrica contribui para a sustentabilidade e para o crescimento econômico local, bem como pode contribuir para melhores condições sociais e de saúde pública, uma vez que as reduções na poluição local beneficiarão as pessoas que vivem perto das vias de trânsito, acarretando a diminuição da exposição à poluição do ar e sonora para as pessoas mais vulneráveis socialmente (SCLAR *et al*, 2019). Garmedia (2019) lista os principais impactos sociais relacionados com a transição da frota automotiva para os veículos elétricos no Quadro 1.

Quadro 1 – Impactos econômicos e sociais decorrentes da transição da mobilidade elétrica

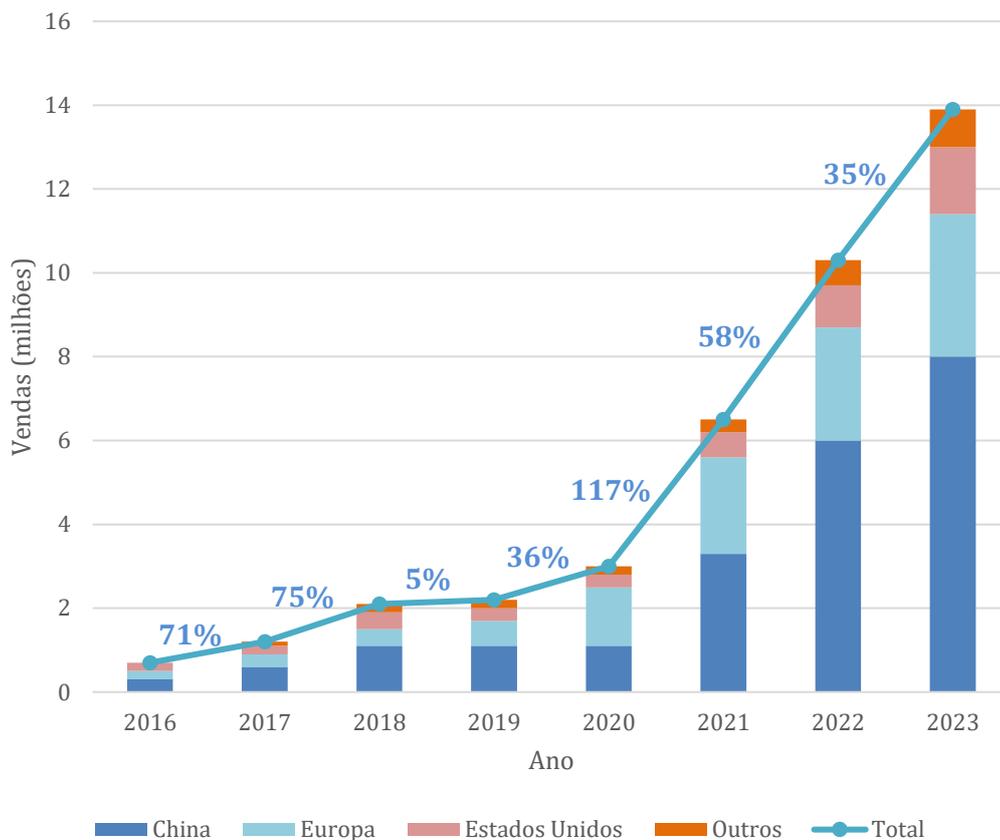
Tema	Impactos Econômicos e Sociais
Manutenção	A frequência e o custo de manutenção serão menores do que para os veículos convencionais o que contribui para a diminuição dos serviços relacionados a manutenção de veículos com o aumento dos VEs na frota nacional.
Combustível	Redução das atividades de abastecimento de gasolina e diesel, gás natural nas operações de postos de abastecimento de combustíveis fósseis, o que impacta nos modelos de negócios e empregos relacionados a este setor.
Infraestrutura de recarga	Investimentos para aumentar o fornecimento de energia elétrica, construção, instalação e manutenção de estações de carregamento podem compensar a perda de empregos no setor de combustíveis fósseis, gerando novos empregos no setor da mobilidade elétrica.
Menor Custo por km	O menor custo por km acarreta o aumento do uso de veículos gerando impactos positivos na geração de empregos, especialmente em setores intensivos em transporte, além de aumentar a demanda por outros bens e serviços.
Diminuição da poluição	A diminuição de emissão de gases poluentes acarreta efeitos na saúde pública uma vez que reduzem a demanda desses serviços, geram economia nos custos de saúde e aumentam a produtividade e a demanda por outros bens e serviços.
Tecnologias e Materiais	A extração da matéria prima para a construção das baterias e toda a cadeia produtiva para a fabricação dos VEs gera novos polos de emprego. Além de corroborar com o aumento de pesquisas direcionadas para apresentar melhores condições desta tecnologia.
Modelos de mercado	A introdução dos VEs na frota nacional gera novos modelos de negócios, como o <i>car-sharing</i> e o <i>leasing</i> , que exploram diferentes tipos de propriedade e uso dos VEs. Os novos modelos de negócios geram novos empregos e renda no cenário nacional.

Fonte: Adaptado de GARMEDIA, 2019.

O aumento expressivo de novos registros de veículos elétricos, a bateria e híbridos, bateu

recorde no ano de 2022 de acordo com IEA (2023), pois ainda que o mercado tenha tido início somente há uma década, já foi ultrapassado o marco de 10 milhões de unidades comercializadas em âmbito mundial em 2022, o que representou 14% de todos os veículos novos comercializados no mundo, conforme apresentado na Figura 2. Sobre as vendas totais dos veículos elétricos registradas em 2022, os BEV representam cerca de 70% enquanto os HEV 30%. A ascensão deste mercado é liderada pela China, que representa 57% do total da venda de VEs, fazendo o país como o mais bem sucedido em relação a inserção desta tecnologia em âmbito global.

Figura 2 - Evolução das vendas mundiais de veículos elétricos entre 2016-2023



Fonte: Adaptado de IEA, 2023.

No contexto da eletromobilidade e da expansão dessa tecnologia em escala global, o Brasil não apresenta uma posição de destaque. Entretanto, possui grande potencial de crescimento por possuir um dos principais mercados consumidores automotivos do mundo a ser explorado pela mobilidade elétrica (OLIVEIRA *et. al.*, 2022), conforme demonstrado na Figura 3:

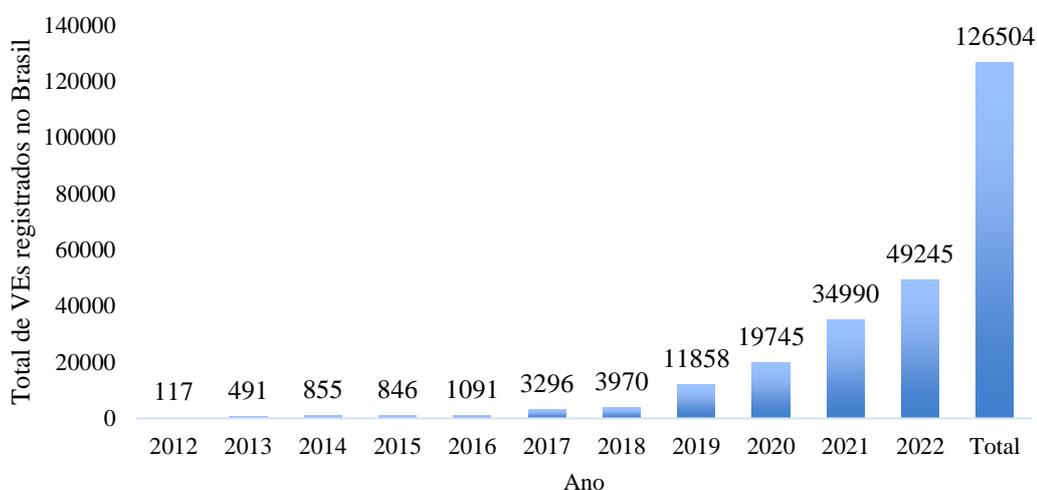
Figura 3 - Países líderes em vendas ou matrículas de veículos novos, de todas as categorias (2019)



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA *et.al.* 2022.

Em análise ao cenário otimista de inserção dos VEs, a ABVE (2023) indica que cerca de 126.504 veículos elétricos e híbridos foram registrados em circulação no Brasil, conforme Figura 4, representando um aumento de 41% com relação a frota de automóveis nacional em 2021.

Figura 4 – Registro de veículos eletrificados (VEs) no Brasil de 2012-2022.

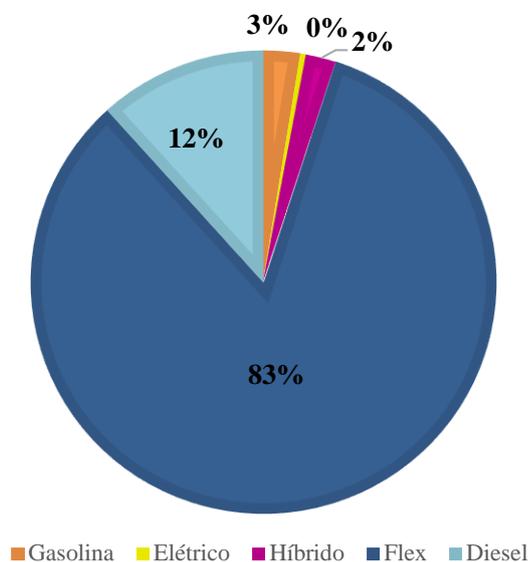


Fonte: Adaptado de ABVE, 2023.

Segundo dados do SENATRAN (2023) a frota de veículos elétricos (VE) no Brasil representa cerca de 0,21% com relação ao total da frota nacional de automóveis, o que ainda é muito distante da realidade dos países detentores do pódio da mobilidade elétrica. No ano de 2022, os veículos elétricos, a bateria e híbridos, representaram cerca de 2% do total de licenciamentos de automóveis realizados no Brasil, conforme observado na Figura 5. Com relação a quantidade de postos de recarga, de acordo com a ABVE, em 2022 foram registrados um total de

aproximadamente 2.950 eletropostos públicos e semipúblicos no país.

Figura 5 - Licenciamento total de automóveis e comerciais leves por combustível do ano de 2022 no Brasil.



Fonte: Adaptado de ANFAVEA, 2023.

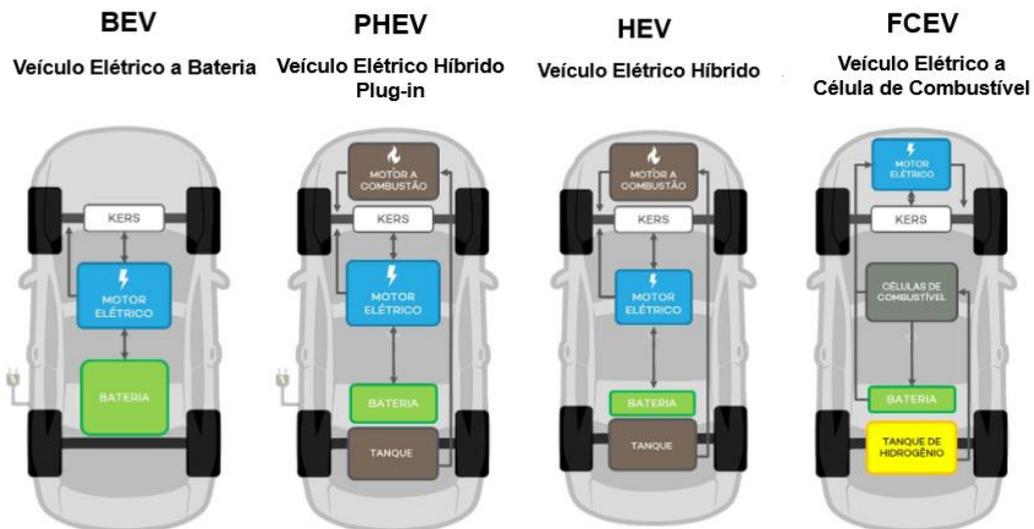
Avanços nas tecnologias indicam a tendência de disseminação do uso de veículos elétricos e ainda, indicam que futuramente eles terão um desempenho mais refinado com diminuição na lacuna de preço de aquisição em comparação aos veículos de combustão interna. De acordo com IEA (2023) a análise conjunta de metas governamentais, anúncios de montadoras e cenários de inserção indicam sinais positivos. Porém, o aumento de veículos elétricos em larga escala pode trazer riscos ao sistema elétrico, já que uma série de automóveis carregando representa uma carga considerável requisitando potência dos transformadores. À vista disso, faz-se necessários estudos para sustentar a viabilização desse cenário no Brasil (COSTA *et al.*, 2021).

São descritos como VEs aqueles que usam propulsão por meio de um motor elétrico, ou então, aqueles que adicionam pelo menos um motor elétrico ao seu sistema de propulsão. Estes veículos podem ter diferentes características construtivas, com diferença sobretudo em relação ao conjunto propulsor e ao arranjo de alimentação do sistema de armazenamento de energia (CABALLERO-PEÑA *et al.*, 2022). Segundo a ABNT (2013) um automóvel elétrico é aquele que possui um conjunto propulsor elétrico, alimentado por meio de acumuladores de carga recarregáveis, cuja energia é retirada exclusivamente de uma fonte externa ao veículo por meio da tecnologia de conexão com a rede (tecnologia *plug-in*).

De acordo com a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (2023) esses automóveis são classificados pela fonte de energia elétrica que alimenta o motor elétrico e pelo arranjo dos

componentes do sistema de tração elétrica. Essas categorias também se relacionam às tecnologias de propulsão de baixa emissão e se associam a quatro configurações principais, conforme Figura 6, que são caracterizadas por arranjos tecnológicos que envolvem diferentes possibilidades de interface da propulsão elétrica: veículo elétrico a bateria, veículo elétrico híbrido, veículo elétrico híbrido *plug-in* e veículo elétrico a célula de combustível (BARASSA *et. al.*, 2020).

Figura 6 - Configurações principais dos veículos elétricos



Fonte: Adaptado de NEOCHARGE, 2021.

Entre os veículos que inserem a tecnologia *plug-in* e que possuem pelo menos um motor elétrico, dividem-se os veículos puramente elétricos e aqueles que têm mais de um tipo de propulsor, definidos como híbridos (ASSOLAMI; MORSI, 2015). Segundo Costa *et al.* (2021) o primeiro é alimentado exclusivamente por meio da energia elétrica acumulada na série de baterias e, por este motivo, são chamados como veículos elétricos à bateria (*Battery Electric Vehicle – BEV*), tendo como exemplo o japonês *Nissan Leaf*. Em relação aos veículos híbridos, há uma grande variedade entre os tipos de propulsão encontrados além das variações em características relacionadas à conexão entre veículo e rede elétrica.

Os VEs híbridos, ou *Hybrid Electric Vehicles (HEV)*, são identificados por suprir a maior parte da energia a partir de um MCI, usando o motor elétrico especialmente para maximizar a potência do conjunto propulsor, reduzir o consumo de combustível e atuar como um gerador quando armazena energia a partir do Sistema de Recuperação de Energia Cinética (*Kinetic Energy Recovery System*). Como exemplo de um HEV, encontra-se no comércio brasileiro o americano *Ford Fusion Hybrid* (MELLO; MARX; SOUZA, 2017).

Os automóveis híbridos recarregáveis, ou *Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)*, são

definidos como aqueles que adicionam um motor de combustão interna (MCI) ao seu conjunto propulsor, associado a um motor elétrico (VALSERA-NARANJO *et al.*, 2019). Neste tipo de veículo o conjunto de baterias adquire energia por meio do MCI, que age como um propulsor secundário, além da energia oriunda da rede que é armazenada nas baterias por meio da tecnologia *plug-in*. A partir disto, o motor elétrico é alimentado com a junção destas duas formas variadas de fonte, ao exemplo do *Toyota Prius* (GODINA *et al.*, 2016).

Em relação aos VEs que não possuem conexão com a rede elétrica, existem aqueles movidos por meio de células de combustível. Os veículos que possuem uma célula de combustível em alteração à bateria são chamados como *Fuel Cell Electric Vehicles* (FCEV). Nesta situação, um motor elétrico é adicionado com o objetivo da geração de potência mecânica a partir de uma pilha de combustível, normalmente de hidrogênio, e assim, a bateria funciona unicamente para dar suporte ao procedimento de partida do veículo, como acontece no coreano *Hyundai ix35 Fuel Cell*, primeiro FCEV produzido em massa (LIU *et al.*, 2013).

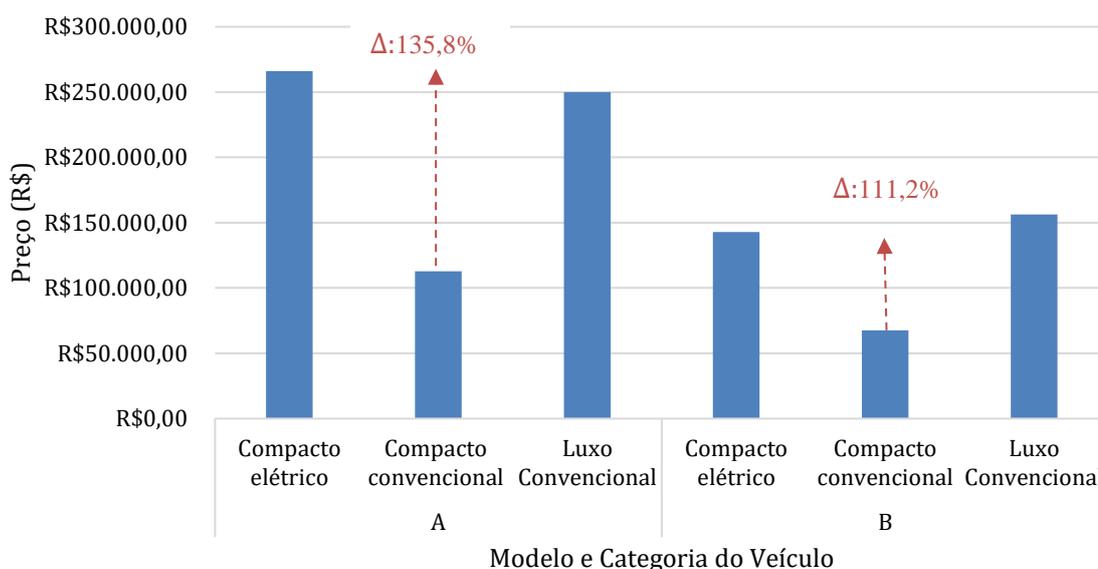
A distribuição e a localização dos motores elétricos no veículo podem mudar conforme o projeto do mesmo, normalmente designado por um único motor elétrico que provê energia a um par de rodas ou a todas elas. Quando possui dois motores, podem oferecer energia ao par de rodas dianteiras ou traseiras e ainda, apesar de pouco usual, pode haver quatro motores, um para cada roda (VALSERA-NARANJO *et al.*, 2019).

2.2.1 Desafios para disseminação da eletromobilidade

Apesar do cenário de sucessivos recordes de vendas de veículos elétricos no mundo, é importante ressaltar que as transições energéticas são processos usualmente lentos, principalmente quando afeta a tecnologia e o mercado dominante, como é o caso dos veículos convencionais. Apesar das vantagens supracitadas com a adoção dos VEs, existem desafios para sua popularização no Brasil. Esses desafios se iniciam no momento de aquisição pois os veículos elétricos exigem um elevado investimento inicial, mudanças nas infraestruturas de carregamento e alterações na rotina dos consumidores (WOLFF; MADLENER, 2019).

No cenário brasileiro a questão econômica ainda é um entrave para a aquisição de um VE devido ao alto custo de aquisição do produto. Em Oliveira *et al.* 2022, são apresentados os preços de versões elétrica e convencional de dois modelos compactos disponíveis no mercado brasileiro. Para efeito de comparação, estes preços são comparados a modelos SUV dos mesmos fabricantes equipadas com motores a combustão e notou-se que por um mesmo custo inicial, o consumidor pode optar por adquirir um veículo de luxo a combustão, em comparação a um modelo mais simples e compacto elétrico, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Comparação de preço de veículos no Brasil



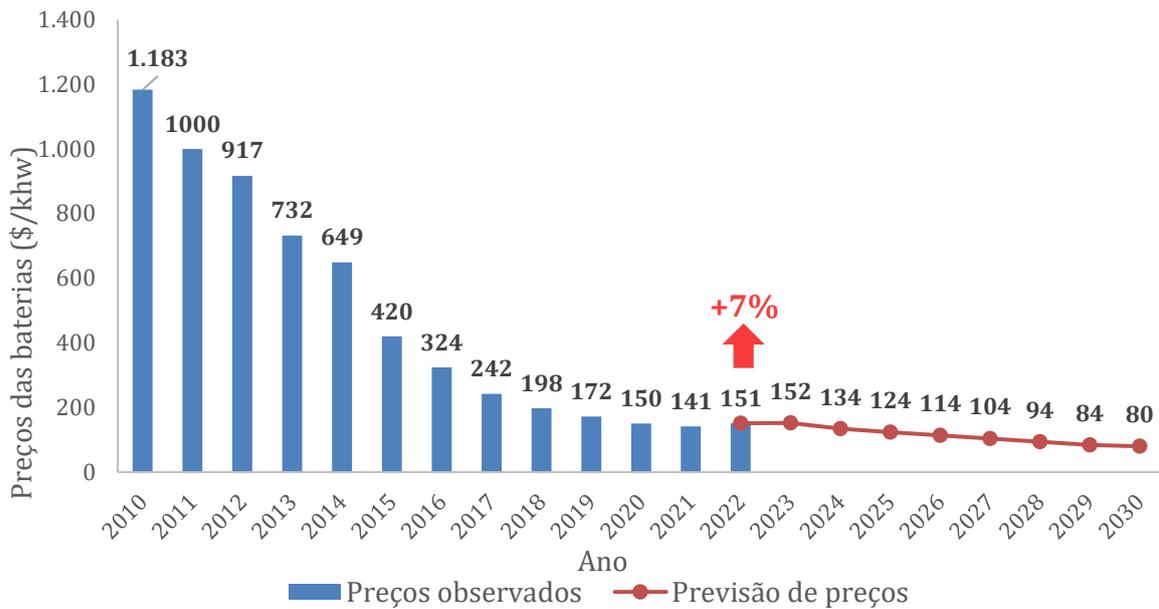
Fonte: Adaptado de OLIVEIRA *et.al.* 2022.

Ainda com relação aos custos iniciais de um VE, o custo da bateria ainda é predominante sobre o custo final do veículo, correspondendo a aproximadamente 40 a 50% do custo total. Este alto custo está ligado a disponibilidade de matéria-prima para fabricação e aspectos ligados a autonomia, permeando toda a discussão de como a introdução desses veículos poderá ser acelerada (JUSSANI; MASIERO; IBUSUKI, 2017).

Observa-se atualmente uma forte tendência de diminuição do custo das baterias. Entre 2010 e 2019, os custos médios das baterias caíram 85%. Entretanto, em 2022, fatores externos impactaram na tendência de diminuição dos custos, conforme apresentado na **Figura 8** – escassez global de minerais de terras raras e preços mais altos associados para a fabricação de baterias, bem como as interrupções na cadeia de suprimentos causadas pela Guerra na Rússia e Ucrânia e pelos contínuos bloqueios do Covid-19 em algumas partes da China (LAM 2014, BLOOMBERG 2020).

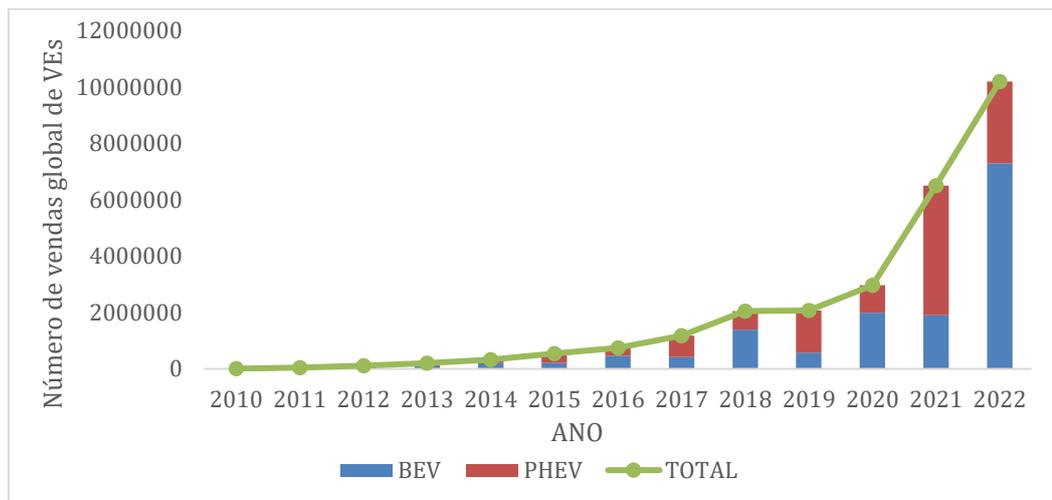
A bateria também apresenta uma menor autonomia em comparação a um automóvel à combustão. Essa autonomia pode variar entre 100 e 200 km, em média, a depender do tipo de veículo. Outro desafio encontrado em relação à bateria é a sua reduzida vida útil, em torno de 8 anos, sendo necessário a substituição e descarte durante a vida do veículo (DES *et al.*, 2020). O cenário de reuso e substituição das baterias ainda não está completamente definido mundialmente, visto que a venda dos veículos elétricos, em larga escala, ocorre há cerca de uma década conforme a **Figura 9**, e grande parte das baterias ainda estão em sua vida útil, segundo dados dos fabricantes da tecnologia.

Figura 8 – Histórico de preços dos metais das baterias entre 2010-2023



Fonte: Adaptado de BLOOMERG, 2023.

Figura 9 – Histórico de venda de veículos elétricos no mundo



Fonte: Adaptado de IEA, 2023.

Como regra geral, há meios de tornar mais atrativo financeiramente o reparo das baterias, uma vez que as fabricantes dessa tecnologia informam que mesmo após o fim da vida útil para aplicação veicular, as baterias continuam com desempenho apropriado para uma segunda aplicação, conhecida na literatura pelo termo *second life*. Outro ponto importante a ser levantado é que as baterias podem frequentemente ser restauradas a uma condição diária irrestrita através da substituição de módulos individuais necessários para o reparo, não necessitando da substituição completa da bateria (HILDEBRANDT, 2022).

Em termos de realidade internacional, é preciso levantar algumas questões sobre o descarte inadequado de baterias, a obtenção da matéria prima e o impacto ambiental iminente, quando houver aumento substancial na quantidade de veículos elétricos a bateria disponível. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), até 2030, há uma previsão de 23 milhões de veículos elétricos sendo vendidos globalmente e isso pode levar à retirada de 5.750.000 toneladas de baterias até 2040, assumindo uma vida útil de bateria de 10 anos e 250 kg por bateria.

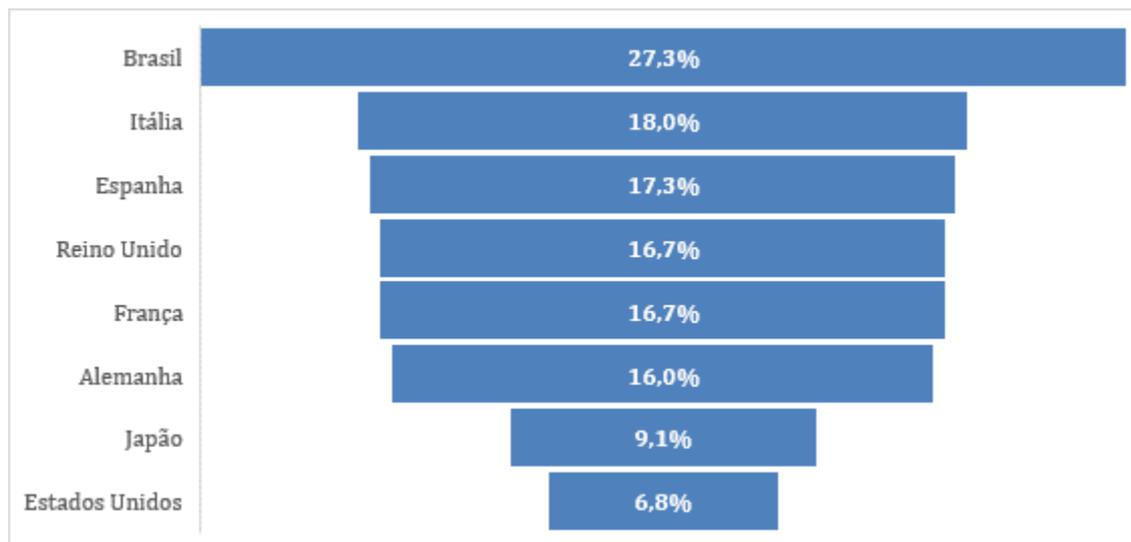
No trabalho de Reinhardt (2019) são discutidas as principais perspectivas de segundo uso de baterias de veículos elétricos como solução para o reaproveitamento de baterias de VEs degradadas, com o objetivo de reduzir o custo de aquisição dos veículos elétricos, ao prolongar a vida útil e o aproveitamento da bateria. Com isto, verifica-se que ainda há muita oportunidade de estudo, avanço científico e tecnológico quando se trata do uso sustentável das baterias.

Outra barreira para a difusão dos VEs é a falta de conhecimento e informação em relação às vantagens associadas aos VEs, deixando a transição de um veículo convencional para o VE em um horizonte mais distante. Krause *et al.* (2018) fez uma pesquisa envolvendo mais de 2000 pessoas nos Estados Unidos e, concluiu que a grande parcela dos questionados não sabia responder a questões básicas sobre os VEs e não tinha conhecimento sobre os incentivos públicos disponibilizados. Essa falta de conhecimento reflete na falta de profissionais capacitados para fabricação e manutenção dessa tecnologia que influencia diretamente nos valores de seguro, revisão e na decisão de compra do consumidor.

Outro ponto negativo no cenário brasileiro é a falta de incentivos federais e altas taxas tributárias incidentes sobre os veículos. Alguns estados e cidades já estão concedendo incentivos fiscais, mas ainda falta um grande pacote de incentivos federais para veículos elétricos e híbridos (ABVE, 2017). De acordo com a ANFAVEA (2023), o Brasil apresenta as maiores participações dos tributos sobre automóveis no preço ao consumidor do mundo. Em comparação aos países apresentados na **Figura 10**, a média dos tributos brasileira que impacta no valor final do automóvel é em torno de 27,3%, enquanto em outros países a média das taxas de tributos aplicados sobre os veículos automotores são menores.

Outro fator que corrobora com o avanço tardio da mobilidade elétrica no Brasil é a escassez de leis, incentivos e regulamentos específicos sobre o tema, principalmente, no que tange ao padrão de conectores e a definição de pontos de comunicação de internet de forma a garantir a interoperabilidade, para fins de compartilhamento de dados, em postos de carregamento de veículos elétricos públicos e privados no Brasil (PROMOB-e, 2018).

Figura 10 – Participação dos tributos sobre automóveis no preço ao consumidor por países



Fonte: ANFAVEA, 2023.

Dentre os entraves para a integração em massa dos VEs na matriz energética, também pode-se citar como fator limitante a falta de infraestrutura de carregamento preparada para atender essa demanda, principalmente no caso do Brasil, devido a vasta extensão territorial. Principalmente no que concerne à disponibilidade de pontos de recarga rápida. Esta precariedade na infraestrutura de recarga fica mais acentuada quando o proprietário não tem oportunidade para instalar um carregador na sua casa ou quando ele tem de percorrer grandes deslocamentos, cenário comum no Brasil (DINIS, 2021).

Dessa forma, para contribuir com a integração dessa tecnologia, é necessário planejar adequadamente as estações de carregamento de VEs, uma vez que, a escolha de locais potenciais e o aumento da disponibilidade de postos de recarga contribui para maior segurança dos consumidores na compra de veículos elétricos (OLIVEIRA *et.al.*, 2022).

É preciso informar também que com o avanço das redes elétricas inteligentes e o aumento da conectividade e avanço da utilização de sistemas digitais na automação das redes elétrica, existe um aumento também da vulnerabilidade a ataques e acesso a informações e operações de dispositivos do sistema. Nessa situação, é preciso desenvolver sistemas de proteção específicos para o setor elétrico com o objetivo de impedir danos decorrentes de ataques dessa natureza (BRASIL, 2020).

Do ponto de vista do operador do sistema elétrico, o aumento da implantação dos VEs representa um aumento na demanda de energia por parte dos consumidores. Esse acréscimo de carga pode provocar vários efeitos adversos nas redes de distribuição (HUSAIN *et al.*, 2021), a

exemplo de desequilíbrios de tensão e diminuição da qualidade de energia.

Os VEs se diferenciam bastante das cargas tradicionais, sendo notado que as cargas de um VE não são lineares por natureza, pois consomem uma grande quantidade de energia em um curto período. Esta característica configura um elevado risco para a operação das redes elétricas, pois muitos sistemas de energia atualmente trabalham à beira da instabilidade (KHALID *et al.*, 2019). Dessa maneira, é fundamental a investigação dos impactos na estabilidade do sistema antes de integrar novas cargas de VE à rede.

A difusão em massa dos VEs no sistema de distribuição sem um planejamento adequado para atendimento da demanda, pode alterar o regime de operação da rede e contribuir para o aumento das perdas de energia. De acordo com Neto e Piotrowski (2019) as perdas no sistema de distribuição de energia tendem a aumentar de maneira drástica após uma taxa elevada de penetração dos VEs ser alcançada, em virtude dos limites de operação da rede com relação ao seu dimensionamento e as cargas conectadas.

Podem acontecer também impactos à qualidade de energia devido ao carregamento de VE que são provocados por desbalanços de tensão e introdução de harmônicas no sistema. Khalid *et al.* (2019) explica que as harmônicas injetadas na rede pelo veículo elétrico dependem de maneira direta dos equipamentos de eletrônica de potência que formam o VE e a estação de recarga. Além disso, os autores ainda mostram que há uma grande relação entre a distorção harmônica da rede elétrica e a diminuição da expectativa de vida útil dos transformadores de potência, o que maximiza os impactos causados no SEP.

Diante dos impactos expostos fica evidente que é fundamental melhorar a infraestrutura de carregamento. Destaca-se, que os veículos elétricos também podem gerar efeitos positivos notáveis em uma rede de distribuição. Esses efeitos se configuram sobretudo na maneira de serviços *ancilares* prestados aos sistemas de energia, tais como regulação de frequência, deslocamento de carga, gerenciamento dos níveis de tensão e injeção de energia armazenada pelas baterias (ARIAS *et al.*, 2019). No trabalho de OLIVEIRA *et al.* (2012), são políticas de planejamento para carregamento e inserção dos veículos elétricos de maneira a proporcionar a prestação destes serviços.

Os veículos elétricos usam a energia armazenada nas suas baterias para realizar o seu deslocamento. Conseqüentemente, é necessário que a rede elétrica esteja à disposição para a recarga do veículo. Na medida em que esse mercado se desenvolva, novas tecnologias podem ser difundidas. Entre essas tecnologias provenientes dessa expansão está o uso de frotas de VEs atuando como pequenos bancos de baterias por meio do modo V2G (SABILLÓN *et al.*, 2015).

Essa tecnologia de fornecimento de energia a partir de veículos elétricos *plug-in* para rede elétrica é conhecida como *vehicle-to-grid* (V2G) e possibilita, de maneira flexível, a atuação dos VEs como uma reserva de energia móvel. Os elementos para atuação segura dessa tecnologia são: central de controle e comunicação com os operadores da rede elétrica, medidores de energia a bordo dos VEs e conexão à rede elétrica por meio de cabos (GUO *et al.*, 2015). De maneira resumida, o *Vehicle-to-Grid* é um processo de fluxo bidirecional de energia em que a energia pode ir da estação de recarga/rede para o veículo e vice-versa.

O uso de veículos elétricos *plug-in*, na configuração V2G, para transferência de energia em um ambiente de rede inteligente pode proporcionar suporte para distribuidoras nos horários de pico de demanda, e diminuir o valor do kW/h pago pelos seus proprietários no horário de ponta (RUTHER, 2015).

De acordo com Hamed, Huang e Wu (2018) uma das principais vantagens de um sistema de energia V2G é facilitar e incentivar a participação dos VEs na oferta de diversos serviços auxiliares à rede elétrica por meio de comunicações apropriadas, como no fornecimento de energia de reserva. Um sistema V2G de grande escala pode auxiliar a manter o equilíbrio entre a oferta e a demanda na rede elétrica por meio da injeção de energia acumulada em suas baterias na rede elétrica, atuando de maneira semelhante a uma fonte reserva de geração de energia.

Apesar da capacidade de fornecimento de cada VE individual seja reduzida, um grupo de VEs agregados e sincronizado pode ser perceptível e gerenciável, podendo também colaborar no horário de pico. Dessa maneira os veículos elétricos ao descarregar suas baterias no horário de ponta, que corresponde de 18:00 até as 21:00, e carregá-las fora dele (após as 21:00) pode auxiliar consideravelmente a diminuir o pico de demanda (HAMED; HUANG, WU, 2018).

De maneira geral para que uma tecnologia seja utilizada é preciso analisar as inovações que ela possibilita para determinado grupo ou população. Além do benefício da redução da poluição pelos VEs procura-se encontrar outras vantagens que possam atrair ainda mais o interesse para investimento em infraestrutura de carregamento e descarregamento de VEs. E como já mencionado, no instante em que o VE está conectado à rede e atendendo às condições de operação do V2G, ele está apto para atuação como fonte de geração, sendo reconhecido como dispositivo que ajuda na melhoria da confiabilidade do sistema de distribuição.

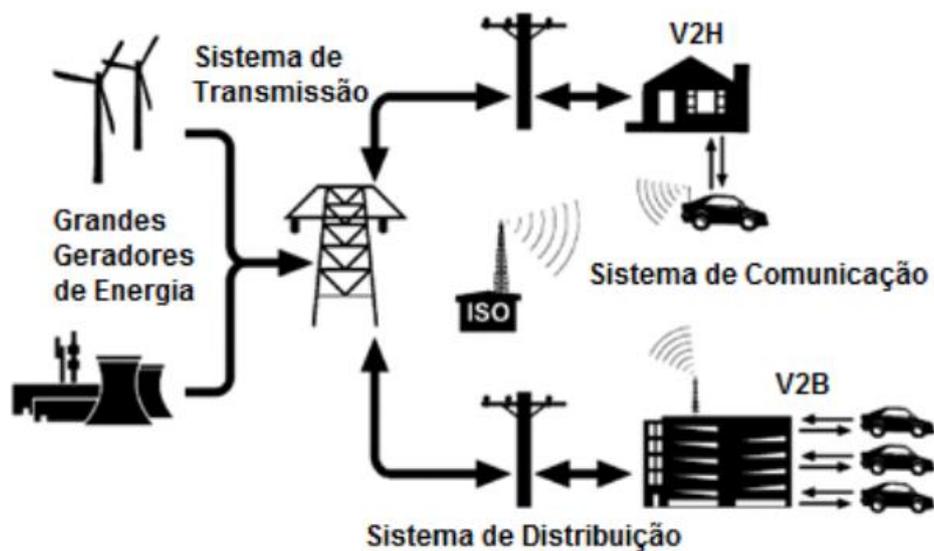
Para que ocorra o fluxo de energia entre o VE e a rede elétrica é indispensável além de uma conexão física adequada, que ambos se comuniquem em tempo real. Essa conexão física, resumidamente, é feita por carregadores bidirecionais *on-board* ou *off-board* que atendam aos requisitos elétricos, e equipamentos de comunicação que proporcionam a troca de informações

entre o VE e um agregador, também conhecido como operador independente do sistema (do inglês, *Independent System Operator* – ISO (NOUR *et al.*, 2018). De acordo com Pinto *et al.* (2017) sistema V2G consiste então de seis subsistemas principais:

- Recursos energéticos e concessionária de energia;
- Um operador e agregador de sistemas independentes;
- Locais e infraestrutura de carregamento;
- Fluxo bidirecional de energia elétrica e comunicação entre cada veículo elétrico e operador ou agregador;
- Medição e controle inteligente *on-board* ou *off-board*;
- O próprio veículo elétrico com o seu sistema de gerenciamento de energia.

A Figura 11 mostra um exemplo básico de um sistema V2G com seus respectivos VEs e ISO.

Figura 11 - Sistema V2G básico

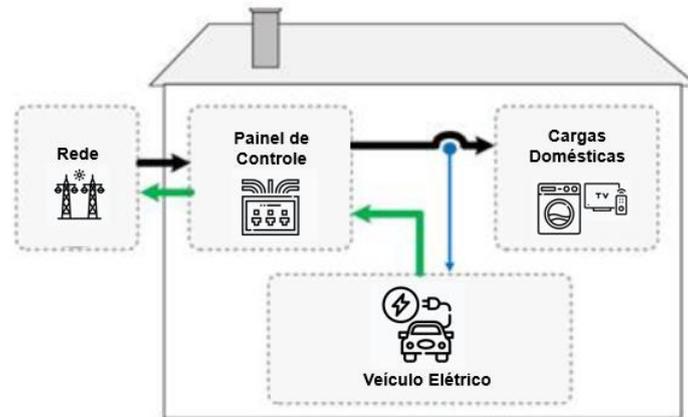


Fonte: TOMIC; KEMPTON, 2007.

Entre os ramos do sistema V2G encontram-se também os modos V2H (*Vehicle-to-Home*) e V2B (*Vehicle-to-Building*) (GHADERI; NASSIRAEI, 2015). No modo V2H, os veículos elétricos possuem a possibilidade de injetar a energia armazenada nas suas baterias diretamente em *smart houses*. As *smart houses* são definidas como sistemas residenciais interativos onde o residente tem a possibilidade de coordenar a sua carga doméstica, receber informações de consumo e programar o uso de equipamentos. Para poder realizar esse controle existem arquiteturas como *Internet of Things* (IoT) que é a conexão de equipamentos à internet por meio de um dispositivo

remoto capaz de transmitir e reunir dados (ZOUAI *et al.*, 2018). A Figura 12 mostra um exemplo de configuração para o sistema V2H.

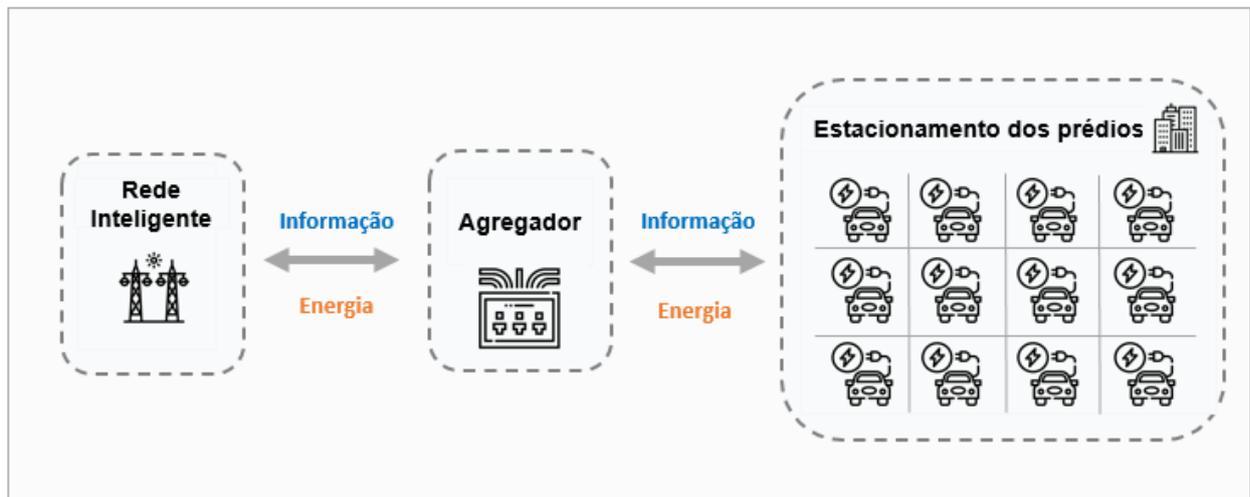
Figura 12 - Sistema V2H



Fonte: Adaptado de MONTEIRO *et.al.* 2016.

No caso da configuração V2B que é localizada em estacionamentos compartilhados, ela pode ser definida como uma distribuição padrão de distritos comerciais ou industriais, podem em algumas situações, ser vista em distritos residenciais, no caso dos condomínios. O prédio, indústria ou estabelecimento usa-se de um estacionamento compartilhado para possibilitar ao usuário deixar o seu veículo elétrico a disposição de um agregador (PINTO *et al.*, 2017). A **Figura 13** apresenta um exemplo desse tipo de configuração.

Figura 13 - Sistema V2B



Fonte: Adaptado de GUO; ZHOU, 2018.

Então, de maneira geral, o modo V2G pode ser aproveitado de diversas maneiras e para vários propósitos. De acordo com a disponibilidade de VEs, estruturas, e objetivos, é possível usar uma frota de VEs para vários fins. Entre elas pode-se citar a sua participação nas Usinas de Energia

Virtual (*Virtual Power Plant – VPP*). As VPPs possuem a função de integrar as gerações distribuídas a fim de balancear geração e demanda de energia por meio de um canal de comunicação. As estações de carregamento estruturadas com equipamentos bidirecionais podem fazer parte das VPPs. Além disso, sua construção em locais estratégicos do sistema também tende a melhorar a confiabilidade da rede elétrica de uma maneira geral. Entre as estações de carregamento interessantes para a aplicação do modo V2G destacam-se os estacionamentos inteligentes (do inglês, *smart parking lots*) (MORADIJOZ *et al.*, 2018).

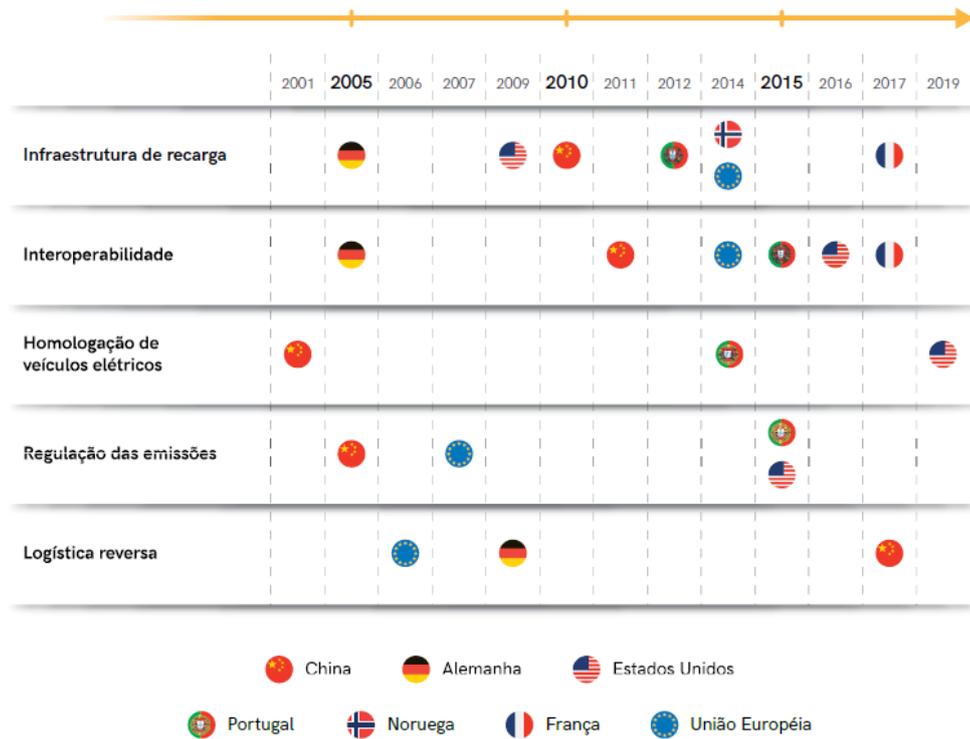
2.3. Panorama global da regulação da mobilidade elétrica

O processo de transição para inserção de novas tecnologias envolve ameaças ao modelo de negócio dominante que pode exercer resistência às inovações. Com isto, é necessário a intervenção do Estado para a formação e estruturação do mercado com um rigor regulatório e foco no direcionamento e no esforço de pacificação dos elementos e atores do sistema da mobilidade elétrica (WADY, 2021). Esta seção busca analisar o cenário regulatório e de políticas públicas internacional de modo a avaliar as oportunidades para implantação nacional.

Em um panorama global, levando em consideração o perfil econômico e o desenvolvimento na indústria automobilística, China, Chile, Estados Unidos, Portugal e União Europeia possuem normas e regulamentações sobre a mobilidade elétrica e também possuem alta penetração de veículos elétricos na frota circulante e alto índice de licenciamento, experiência do grupo de trabalho e consulta a atores-chave (YANG, 2020). Além desses países, Alemanha, Noruega e França são destaques nas normas e regulamentações e no estabelecimento de boas práticas que estimulam a eletromobilidade. Vale destacar que o escopo dessas normas envolvem temas relevantes como: padronização do sistema de recarga, homologação de veículos, interoperabilidade do sistema de recarga, regulação das emissões urbanas e logística reversa.

A Figura 14 mostra graficamente o marco inicial, em ordem cronológica, das normas e regulamentações para cada tema da mobilidade elétrica (D’AGOSTO *et al.*, 2020). De maneira geral, segundo a Figura 14, grande parte dos países em questão desenvolveu normas e regulamentações nos últimos dez anos, sobretudo relacionados à infraestrutura de recarga e interoperabilidade. Somente a China, Alemanha e União Europeia possuem normas e regulamentos específicos para a logística reversa da bateria de veículos elétricos.

Figura 14 - Sequência temporal das normas e regulamentações segundo a mobilidade elétrica



Fonte: EVEROZE; EVCONSULT, 2018.

Na China, normas foram desenvolvidas em 2001 primeiramente com referência à homologação de baterias íon-lítio de veículos elétricos rodoviários. A partir de 2005, foram desenvolvidas normas referentes à regulação de emissões, determinando o consumo e a autonomia dos veículos elétricos, tanto para veículos híbridos e elétricos leves e pesados como para aqueles movidos a hidrogênio. As normas de infraestrutura de recarga surgiram no país a partir de 2010 e as normas sobre interoperabilidade a partir de 2011. Em relação a logística reversa, as normas foram desenvolvidas no país em torno do ano de 2017 com objetivo de normatizar a reciclagem das baterias dos veículos elétricos (CHOI; SONG, 2018).

A Alemanha desenvolveu normas e regulamentos baseados nas normas ISO e as Diretrizes Europeias. No país, a partir de 2005 surgiu a Lei da Indústria de energia que previa o carregamento de veículos elétricos e tinha o objetivo de regulamentá-los, assim como abordar a interoperabilidade. No ano de 2016, foi homologada uma norma federal específica para a infraestrutura de recarga e sua interoperabilidade, tratando os protocolos técnicos mínimos para a construção e operação segura e interoperável dos pontos de recarga acessíveis para o consumidor (LAIB; BRAUN; RID, 2019).

Já na França, a partir de 2017 foram promulgadas normas e regulamentos para a disseminação da mobilidade elétrica, estabelecendo os tipos de conectores e plugues para

carregamento dos VEs e tratando situações relacionadas a interoperabilidade. Já a Noruega possui somente normas sobre a infraestrutura de recarga para VE, e em 2018 o país incorporou na sua legislação a emissão média de CO₂ para veículos novos vendidos, a partir de 2021. Essa adição nas normas objetivou tornar o mercado de veículos elétricos do país mais atraente para os fabricantes, assim como aumentar as vendas (D'AGOSTO *et al.*, 2020).

De acordo com a Figura 14, em Portugal foi regulamentada primeiramente a infraestrutura de recarga que define o regime jurídico da mobilidade elétrica, aplicável à organização, ao acesso e ao exercício das atividades relacionadas ao setor. No ano de 2015, entraram em vigor várias normas no país, contemplando parâmetros de interoperabilidade, assim como a regulação de emissões, buscando reduzir as emissões de CO₂ e à impulsão da mobilidade elétrica (SANTOS, 2017).

Nos Estados Unidos, como existe a interdependência dos estados, existem diversas normas e regulamentos à respeito da mobilidade elétrica. Por exemplo, no estado da Califórnia, o Código de Veículos da Califórnia indicou que os proprietários de VE devem registrar seu endereço e o tipo de veículo. Além disso, esse código estabeleceu a meta provisória de diminuir a emissão de gases do efeito estufa em 40% em relação a 1990 até 2030 (CARB, 2017).

Na União Europeia há várias medidas vigentes, tais como: regulamentos, diretivas, decisões, recomendações e pareceres. Em 2006, foi lançado uma diretiva que busca diminuir ao mínimo o impacto negativo das baterias e acumuladores e respectivos resíduos no ambiente, levando em consideração as baterias de VEs. Em 2007, foi promulgada uma regulamentação tratando da homologação de veículos leves de passageiros e comerciais no que diz a respeito às emissões e ao acesso a informações sobre reparação e manutenção de veículos (DORNOFF *et al.*, 2018).

Em relação à infraestrutura de recarga e interoperabilidade, existe uma diretiva lançada em 2014 tratando da criação de uma infraestrutura para combustíveis alternativos, considerando a eletricidade para VEs. De maneira bem específica, essa diretiva definiu a quantidade de pontos de recarga necessários para o atendimento de veículos elétricos; indicou o uso de sistemas de contadores inteligentes, de maneira a fornecer informações precisas sobre o custo e a disponibilidade dos serviços de carregamento e incentivo ao carregamento em períodos em que a procura por eletricidade é baixa e o custo da energia é reduzido; e indicou que o estabelecimento e a exploração dos pontos de recarga para veículos elétricos deveriam processar-se no âmbito de um mercado concorrencial (GRANDJEAN; GROENEWALD; MARCO, 2019).

Como visto, no cenário mundial existem normas e regulamentos no que diz respeito à

mobilidade elétrica e aos VEs, porém são necessárias boas práticas de governança para mobilizar a sociedade para a transição energética do transporte de passageiros e carga. Pesquisas como a de Slowik *et al.* (2018) buscaram avaliar as políticas públicas internacionais relacionadas à eletromobilidade para o transporte de passageiros que serão apresentadas mais adiante.

Os efeitos das normas, dos regulamentos e das boas práticas na eletromobilidade dos países não podem ser analisados de maneira isolada. Porém, uma série de indicadores setoriais pode determinar onde e como as medidas são analisadas. De maneira geral, é possível perceber o impacto nas vendas de veículos elétricos e híbridos *plug-in*, onde cerca de 83% da frota global desses veículos é encontrada nos países supracitados que possuem normas e regulamentos bem definidos, além de possuir políticas públicas que aumentam o incentivo. Um reflexo dessa realidade ainda maior é a China com sua quantidade de normas e regulamentos que representa 55% do total de VEs vendidos no mundo. O caso de maior destaque é a Noruega, onde 75% das vendas são de veículos elétricos ou híbridos *plug-in* (IEA, 2019).

Esses dados indicam a alta penetração da eletromobilidade nesses países, confirmando o papel catalisador das normas e regulamentos nesse processo. Existem outros fatores que impactam na disseminação dos veículos elétricos, como: modelos de financiamento dedicados, modelos de concessão de transporte público, capacitação e educação de gestores públicos e sociedade civil (D'AGOSTO *et al.*, 2020). Visto o cenário mundial, é importante salientar que o Brasil possui algumas regulamentações, porém em relação aos países supracitados existe uma defasagem muito grande. Além disso, é perceptível a falta de políticas públicas e incentivos para o uso de VE em âmbito nacional, conforme serão apresentados nos tópicos seguintes.

Para que aconteça a realização e implantação de todas as normas e regulamentos supracitados é necessária a existência de instituições e/ou organizações que provoquem as discussões sobre estas temáticas. No Quadro 2 são mostradas as instituições envolvidas no processo de normatização na China, nos Estados Unidos e na Europa.

Quadro 2 - Processo de normatização da eletromobilidade

Local	Agente normatizador	Atores-chave
Estados Unidos	SAE Internacional	<ul style="list-style-type: none"> • Departamento de Energia • Departamento de Transporte e Indústria • Conselho de Eletrônica Automotiva (AEC) • Instituto Americano de Padrões Nacionais (ANSI) • Administração Federal de Rodovia (FHWA)

		<ul style="list-style-type: none"> • Administração Nacional de Segurança Rodoviária (NHTSA) • Agência de Proteção Ambiental (EPA)
China	Subcomitê de Veículos Elétricos Administração de Padronização da República Popula da China (SAC) Comitê Técnico Nacional de Padronização Automática (NTCAS)	<ul style="list-style-type: none"> • Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação (MIIT) • Administração Nacional de Energia (NEA) • Conselho de Eletricidade da China (CEC) • Centro de Pesquisa e Tecnologia Automotiva da China (Catarc)
Europa	Comitê Europeu de Normatização Eletrotécnica (Cenelec) Comitê Europeu de Normatização (CEN)	<ul style="list-style-type: none"> • Direção-Geral do Mercado Interno, Indústria, Empreendedorismo e PME (DG-ENTR) • Estados-membro

Fonte: Adaptado D'Agosto *et al.*, 2020.

No cenário brasileiro, existe o projeto PROMOB-e (Projeto Sistemas de Propulsão Eficiente) que é um projeto de cooperação técnica executado pelo Ministério da Economia em parceria com o Ministério Alemão de Cooperação Econômica. As atividades do projeto iniciaram em 2017 e se encerraram em 2021. O projeto surgiu como maneira de apoiar o Brasil a alcançar sua meta global de redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE). Essa meta, estabelecida após a Conferência Climática em Paris (COP21), é de reduzir a emissão de GEE, até 2030, em 43% em relação aos níveis de 2005 (PROMOB-e, 2018).

No Brasil, o setor de transporte é responsável por mais da metade do consumo de combustíveis fósseis e por quase a metade das emissões de GEE do setor de energia. Para a melhoria desse cenário, o PROMOB-e atua na mobilidade elétrica dos transportes coletivos e de cargas urbanas, contribuindo para a formulação e implantação de políticas federais voltadas ao setor automotivo. Para alcançar seus objetivos, esse projeto possui três vertentes: desenvolvimento de normas e regulações de requisitos para a mobilidade elétrica, desenvolvimento de estratégias e políticas e públicas e produzir modelos de negócios e projetos-piloto (LAIB; BRAUN; RID, 2019).

Com destaque para a segunda vertente, o PROMOB-e juntamente com parceiros da regulamentação de veículos e uso de energia do Brasil (como a ANEEL e INMETRO) objetiva mostrar propostas de normas e regulamentações para a mobilidade elétrica. Entre 2018 e 2019 foram realizadas três oficinas com especialistas da área para discutir o assunto. Essas normas serão melhores apresentadas nos próximos tópicos (D'AGOSTO *et al.*, 2020).

2.4. Políticas públicas e medidas de incentivo internacionalmente

As políticas públicas provêm da ciência política, tem caráter de interdisciplinaridade, vindo inclusive da ética. Barreiro (2020) afirma política como o tipo padrão que estabelece determinado objetivo a ser alcançado, com finalidade de melhorar aspectos econômicos, políticos e sociais da comunidade. Zhou *et al.* (2015) define que a política aparece, antes de tudo, como uma atividade, isto é, como um conjunto organizado de normas e atos tendentes à realização de um objetivo determinado. Logo, as políticas públicas são um conjunto de ações, determinadas pelo Estado, provenientes de atividades administrativas e legislativas, com o objetivo de produzir normas e atos para alcançar determinada finalidade (D'AGOSTO *et al.*, 2020).

As políticas públicas exercem, atualmente, o papel mais importante para o desenvolvimento da indústria dos veículos elétricos, sobretudo pelo estágio embrionário dessa indústria em comparação com outros tipos. As ações do governo são responsáveis por estimular a transição energética do transporte de passageiros e cargas. Dessa maneira, são incluídas ações como a diminuição de impostos e taxas, frentes parlamentares e estímulos à mudança de hábitos da população em prol da eletromobilidade. O estudo de Slowik *et al.* (2018) separou em quatro categorias as principais ações de promoção governamental de países da América do Norte, Europa e Ásia para veículos elétricos. O Quadro 3 mostra essas categorias e suas ações.

Quadro 3 - Políticas Governamentais para VEs

Categoria	Ação
Políticas regulatórias para veículos e combustível limpos	<ul style="list-style-type: none">• Cotas de veículos limpos;• Normas de eficiência de combustível;• Normas de combustível limpo que dão crédito aos veículos elétricos.
Incentivos ao consumidor	<ul style="list-style-type: none">• Subsídios para a compra de veículos (incentivos e isenções fiscais);• Isenção de taxas anuais;• Acesso preferencial às faixas de rodagem;• Acesso preferencial a estacionamentos;• Carga com desconto ou gratuita;• Programas de financiamento
Infraestrutura de recarga	<ul style="list-style-type: none">• Protocolos-padrão para equipamentos de recarga de VEs;• Estímulos ou financiamento de ferramentas de recarga de VEs;• Implantação direta;• Códigos de construção prontos para equipamentos de recarga de VEs

Planejamento, políticas e outros incentivos	<ul style="list-style-type: none"> • Metas de compras; • Estratégia de mobilidade elétrica; • Alcance e conscientização; • Projetos de demonstração; • Iniciativas de frotas; • Zonas para veículos de baixa emissão
---	--

Fonte: Adpatado D'Agosto *et al.*, 2020.

No estudo de Slowik *et al.* (2018), os autores também mostram vários programas locais ou regionais que apoiam a eletromobilidade em ambientes urbanos, com destaque para cidades que buscaram:

- implantar programas de compartilhamento de carros, como Pequim;
- eletrificar a frota de ônibus públicos, como Oslo;
- promover a carga pública gratuita de eletricidade;
- diminuição na tarifa de pedágios e estacionamentos públicos gratuitos e com prioridade para veículos elétricos, como São Francisco, Hyderabad e Amsterdã;
- proporcionar vantagens relacionadas ao licenciamento e/ou à compra dos veículos elétricos, como Xangai e Qingdao.

A Noruega é destaque em nível mundial devido a grande inserção de veículos elétricos. O sucesso dessa aplicação se deve a fatores como os incentivos governamentais a partir de uma política de zero emissão de poluentes, que inclui a não incidência de impostos para compra de VEs importados, 25% de desconto na compra e no *leasing* de VEs nacionais, permissão para circulação em faixas destinadas exclusivamente aos ônibus, estacionamento grátis, isenção de pedágios, entre outros (EV NORWAY, 2017). De acordo com o plano nacional de transportes da Noruega, implantado com a visão de sua estruturação desde 2018 até 2029, o principal objetivo do setor de transportes é reduzir de maneira substancial suas emissões de gases de efeito estufa, sendo que do total de emissões do país, o setor é responsável por 60%.

Para alcançar esses objetivos, uma série de incentivos foi usada ao longo dos anos pelo governo norueguês no intuito de alavancar o consumo e o uso de VEs no país. O foco principal diz respeito aos consumidores de veículos como pessoas físicas, uma vez que, vários outros estímulos foram implantados, podendo ser divididos em três principais esferas: políticas fiscais, políticas de investimento e políticas não fiscais ou de facilitação do uso dos veículos. Em relação as políticas fiscais por meio de isenções de impostos que levam a diminuição de custo para o

consumidor final, com o objetivo de tornar o preço de um VE equivalente ou abaixo do custo de veículos movidos a combustão interna (BARREIRO, 2022).

No caso das políticas de investimento elas se enquadram em duas maneiras: a primeira são as políticas relacionadas a investimento por meio de órgãos governamentais que promovem a pesquisa ou desenvolvimento de indústrias no setor de mobilidade elétrica; a segunda na parte de infraestrutura, sendo políticas que estimulam a acessibilidade do uso de VEs por meio de incentivos relacionados a construção e manutenção de pontos de recarga de VEs. As políticas não fiscais ou de facilitação ao uso dos veículos possuem como intuito produzir privilégios para aqueles que têm VEs, como exemplo: acesso gratuito às balsas geridas pelo governo, gratuidade de pedágios e até mesmo em estacionamentos de locais públicos (BARREIRO, 2022).

De maneira geral, a intenção do governo norueguês é o benefício aos consumidores que escolhem por carros de baixa ou nenhuma emissão de gases poluentes, de maneira que, aqueles que optam por veículos mais poluentes pagam taxas maiores. A incidência dessas taxas em automóveis mais poluentes podem ser uma boa ideia para financiar os incentivos daqueles menos poluentes sem intervir no recolhimento da receita do governo (D'AGOSTO *et al.*, 2020).

A propagação desta tecnologia não acontece somente devido aos incentivos. O país também possui uma grande infraestrutura pública de recarga, sendo 7.947 estações de recarga lenta e 1.669 estações de recarga rápida para suprir as necessidades dos 725.000 veículos elétricos em circulação (ED NORWAY, 2017). Quando se realiza uma comparação com o Brasil, além da falta de uma infraestrutura pública de recarga adequada, os consumidores brasileiros recebem como incentivo apenas a isenção da taxa de importação e, somente em algumas cidades do país existe o estímulo de diminuição do Imposto sobre a Propriedade de Veículo Automotores (IPVA).

Em relação aos impactos econômicos, sociais e ambientais, na Noruega, apesar de as emissões gerais de carbono terem aumentado de 1,2% entre 2012 e 2017, as emissões do transporte rodoviário diminuíram 8,8% e o consumo de combustíveis fósseis caiu 6,9% (ENERDATA, 2020). Isso indica que os programas, normas, regulamentos e políticas públicas ajudaram a ampliar para mais de 40% a participação de veículos elétricos e híbridos na frota circulante do país, que se tornou líder mundial nesse quesito (SIMONET, 2019).

No caso da União Europeia, Leurent e Windisch (2021) mostra uma série de ações comuns adotadas para estimular os VEs naquela região. Em 2018, a Comissão Europeia reformulou a *European Green Cars Initiative*, disponibilizando 5 bilhões de euros para políticas de desenvolvimento e investimentos em tecnologias de infraestrutura, procurando avanços significativos no uso de energias não poluentes, que também contemplavam projetos relacionados

aos VEs (EGCI, 2018). Já em 2019, o *Electrification of Road Transport* proporcionou diretrizes para as principais empresas e organizações, definindo que até 2022 aproximadamente 1 milhão veículos elétricos deveriam estar rodando pela União Europeia.

No Japão, a pesquisa de Zhou *et al.* (2015) mostra a grande carga de incentivos, particularmente financeiros, disponibilizados para o consumo de VEs no mercado local. Em 2009, o governo japonês lançou sua Nova Estratégia Nacional de Energia que estabeleceu duas metas para o setor de transporte até 2030: (i) melhorar a eficiência de combustível de novos veículos em 30% e, (ii) diminuir a dependência de petróleo de 50% para 20%. No mesmo ano, foram adicionados cerca de 3,7 bilhões de dólares em subsídios e créditos fiscais para VEs, com subsídios para compra de 500 a 1.000 dólares, a depender do tipo de veículo. Além disso, os compradores de VEs são elegíveis a isenção total do imposto sobre a compra de veículos, uma diminuição de 50% na taxa de licenciamento de automóveis, estacionamento dedicado e descontos em pedágios.

No caso da Islândia, de acordo com Sousa e Costa (2022), o principal público-alvo das políticas públicas de incentivo à inserção de veículos elétricos é o consumidor de veículos e motorista islandês. A Islândia adotou dois tipos de políticas: política de disseminação de veículos elétricos e políticas de expansão e suporte de infraestrutura. A primeira inclui as políticas de incentivo majoritariamente fiscais, enquanto a segunda é atrelada à auxílios para a expansão da rede de recarga do país.

Os incentivos fiscais promovidos pelo governo islandês foram: isenção do imposto específico para veículos (“*excise duty*”) baseado na emissão de CO₂ declarada pelo produtor; desconto no imposto sobre o valor agregado (VAT); aplicação do valor mínimo da taxa anual de licenciamento dos veículos (“*road tax*”) que também é baseada na emissão de CO₂ do veículo (SHAFIEI *et al.*, 2018). O governo islandês também atuou no incentivo à expansão da rede de recarga nacional, por meio do investimento de aproximadamente 2 milhões de dólares com o objetivo de incluir 105 novas estações de carregamento até 2022, agregando às 105 estações já existentes no país (EGNÉR, TROSVIK, 2018).

Outro caso interessante é o que acontece na Suécia, onde as políticas de incentivo feitas pelo governo são divididas em três perfis de consumidores de veículos: empresas, pessoas físicas e setor público (BARREIRO, 2022). Em respeito às empresas, foram diminuídos os impostos sob os veículos, em uma maneira de que o preço da compra seja mais equiparado com os preços dos combustíveis de combustão interna. Assim, traria uma maior competitividade por preço aos VEs (NYKVITS; WHITMARSH, 2018).

O governo sueco passou a taxar a compra de veículos em 2006 com uma taxa que varia de

acordo com a quantidade emitida de CO₂. Assim, os VEs são isentos pois não são emissores. Sobre o subsídio em cenário nacional para carros mais sustentáveis, em 2007, todo veículo novo com emissão por quilômetro menor que 120g de CO₂ passaria a ter um suporte de aproximadamente mil euros para compra na Suécia (NYKVITS; WHITMARSH, 2018).

2.5. Cenário regulatório e de Políticas Públicas Nacionais

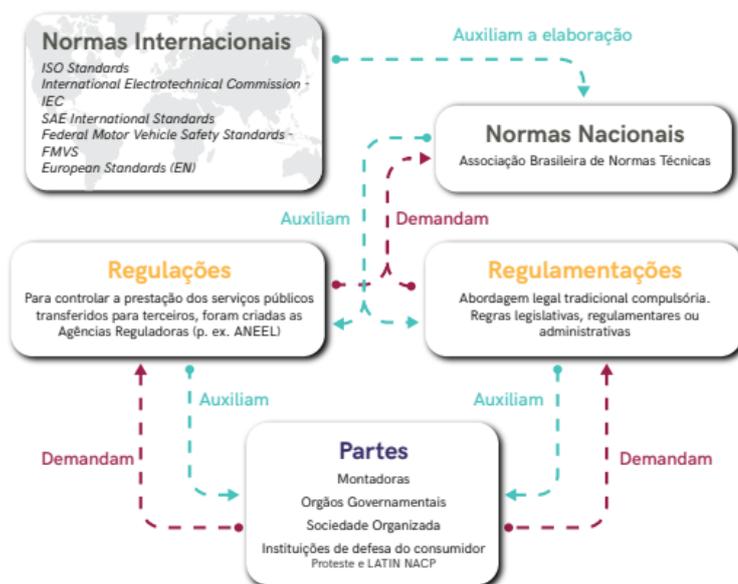
O estudo do cenário regulatório nacional é de fundamental importância para compreender o cenário atual da mobilidade elétrica no Brasil, isto porque, de acordo com WADY (2021) a regulação possui a função de instrumentalizar a pacificação deste ambiente, uma vez que possibilita a união dos *players* para a construção de uma economia e sociedade aptas à recepção de investimentos nacionais e internacionais voltados à mobilidade elétrica. Deste modo, os instrumentos regulatórios são fundamentais para subsidiar, estruturar e formatar as políticas públicas, e essas são essenciais para direcionar a atuação de todos os elementos estruturantes de um sistema de inovação.

Essa importância decorre, principalmente, do fato de que a regulação é um instrumento e o fundamento de políticas, uma vez que a implementação de uma política pública será, sempre, antecedida por um ato normativo (uma lei, uma medida provisória, um decreto, um regulamento, uma resolução etc.) (WADY, 2021). As normas internacionais apresentam um papel importante, visto que subsidia as normas nacionais, apoiadas no consenso internacional sobre o estado da arte, sendo uma fonte importante de auxílio a países em desenvolvimento em questões tecnológicas (D'AGOSTO *et al.*, 2020).

Na Figura 15 são apresentadas as relações entre Normas e Regulamentações no Brasil. No Brasil existe regulamentações, regulações, normas e programas referentes à mobilidade elétrica que são mostrados no Quadro 4, 5 e 6, respectivamente.

Figura 15 – Relação entre Normas e Regulamentações

Relação entre Normas e Regulamentações



Fonte: D'Agosto *et al.*, 2020.

Quadro 4 – Regulamentação e Regulação para a mobilidade elétrica no Brasil

Regulamentação/Regulação	Organização	Esfera	Descrição
Decreto n° 9.442/2018	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços e Presidência da República	Federal	Redução do imposto sobre produtos industrializados (IPI) para veículos híbridos e elétricos
Decretos e leis estaduais	Governados estaduais: MA, PI, CE, RN, PE, SE, RS, SP, RJ e MS	Estadual	Isenção e alíquota diferenciada de Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)
Resolução n° 97/2015	Camex	Federal	Reduz de 35% para zero a alíquota do Imposto de Importação para veículos elétricos e movidos a células de combustível. Os carros elétricos híbridos tiveram redução variável de 0% a 7%, a depender da eficiência energética.
Resolução n° 27/2016	Camex	Federal	Isenção do Imposto de importação para automóveis elétricos de transporte de mercadorias
Resolução Normativa n° 819/2018	ANEEL	Federal	Estabelece os procedimentos e condições para a realização de atividades de recarga e permite a qualquer interessado o exercício dessa atividade, inclusive para fins de

			exploração comercial e a preços livremente negociados.
Projeto de Lei do Senado nº 454, de 2017	Senado Federal	Federal	Propõe a proibição da fabricação de veículos movidos à gasolina e diesel até o ano de 2060, com o objetivo de redução da emissão de poluentes. Este projeto segue para aprovação da Comissão de Meio Ambiente (CMA).

Fonte: Adaptado D'Agosto *et al.*, 2020.

Quadro 5 – Normas para a mobilidade elétrica no Brasil

Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)	Título	Esfera	Setor da mobilidade elétrica
NBR IEC 61851-1: 2013	Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos – Parte 1: Requisitos gerais	Federal	Infraestrutura de recarga
NBR IEC 61851-21:2013	Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos – Parte 21: Requisitos de veículos elétricos para a conexão condutiva a uma alimentação de CA ou CC	Federal	Infraestrutura de recarga
NBR IEC 61851-21:2013	Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos – Parte 22: estação de recarga em CA para veículos elétricos	Federal	Infraestrutura de recarga
NBR IEC 62196-1: 2013	Plugues, tomadas, tomadas móveis para veículo elétrico e plugues fixos de veículos elétricos – Recarga condutiva para veículos elétricos – Parte 1: Requisitos gerais	Federal	Infraestrutura de recarga
NBR IEC 62196-2: 2013	Plugues, tomadas, tomadas móveis para veículo elétrico e plugues fixos de veículos elétricos – Recarga condutiva para veículos elétricos – Parte 2: requisitos dimensionais de compatibilidade e de intercambialidade para os acessórios em CA com pinos e contatos tubulares	Federal	Infraestrutura de recarga

NBR IEC 62660-1: 2014	Células de lítio-íon secundárias para a propulsão de veículos elétricos rodoviários – Parte 1: ensaio de desempenho	Federal	Homologação de veículos elétricos
NBR IEC 62660-2: 2015	Células de lítio-íon secundárias para a propulsão de veículos elétricos rodoviários – Parte 2: ensaios de confiabilidade	Federal	Homologação de veículos elétricos
ISSO/TR 8713:2015	Veículos rodoviários propelidos a eletricidade – Vocabulário	Federal	Homologação de veículos elétricos

Fonte: Adpatado D'Agosto *et al.*, 2020.

Quadro 6 – Iniciativas para a mobilidade elétrica no Brasil

Programa	Organização	Esfera	Descrição
P&D ANEEL e Chamada Estratégica 22	ANEEL e agentes regulamentadores	Federal/privada	Tem como intuito gerar negócios e soluções de mercado para a mobilidade elétrica nos anos de 2020 a 2024.
Programa de Eletromobilidade	BNDS	Federal/privada	Estratégia que financia o ecossistema dos veículos elétricos oferecendo alíquotas de crédito mais atrativas para quem desejar investir neste setor.
Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME)	Instituto Clima e Sociedade e Fundação de Desenvolvimento e Pesquisa (Fundep)	Federal/privada	Tem como objetivo geral ser um instrumento de articulação entre governamentais, mercado, tecnologia e sociedade civil, que coordena suas ações em prol da construção de metas e agendas de ações para a mobilidade elétrica no Brasil
Rota 2030 (Medida Provisória nº 843, de 2018)	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e Ministério da Fazenda	Federal	Tem o objetivo de incentivar as inovações tecnológicas automotivas para o mercado nacional, buscando principalmente a maior

			eficiência energética dos veículos.
--	--	--	-------------------------------------

Fonte: Adaptado de D'Agosto *et al.*, 2020 e BARASSA *et. al.*, 2020.

Com o apresentado nos Quadros 4, 5 e 6 é possível realizar uma comparação do histórico em normatização, regulamentação e boas práticas em eletromobilidade entre o Brasil e os países mostrados no tópico anterior. Porém, é preciso ressaltar que essa comparação deve ser feita com ressalvas, pois existem diferenças entre os países como as diferenças estruturais da indústria automobilística, a concentração de renda, a maturidade do mercado consumidor e os incentivos a outras fontes energéticas. Dessa maneira, é possível que alguns fabricantes de veículos e componentes invistam no mercado brasileiro de eletromobilidade no curto e médio prazo. Porém, a falta de ações concretas em educação da população quanto aos benefícios da eletrificação mantém o receio ao uso dessa tecnologia (D'AGOSTO *et al.*, 2020).

Dentre as normas da ABNT merece destaque a NBR IEC 61851/2013 – Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos. Essa norma foi resultado do trabalho da comissão de estudo 03:069.01 – veículos elétricos rodoviários e industriais, coordenado pelo Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03). A primeira parte da norma é aplicável aos sistemas embarcados ou não embarcados para a recarga de veículos elétricos rodoviários com tensões alternadas normalizada até 1000 V e com tensões contínuas até 1500 V, assim como para a alimentação com energia elétrica a todos os serviços auxiliares do veículo durante a rede elétrica, se necessário (ABNT, 2013).

Dentre as Associações de Classe que se relacionam com a mobilidade elétrica, destaca-se a Associação Brasileira do Veículo Elétrico que atua com as empresas pertencentes à indústria e demais atores, com o objetivo de promover o debate, popularizar e difundir o tema dos VEs, bem como auxiliar na tomada de decisão sobre medidas regulatórias e articulação de atores, sejam eles oriundos do setor público ou do setor privado (BARASSA *et. al.*, 2020).

De todas as regulamentações mostradas acima merece destaque a Resolução Normativa nº 1000/2021, emitida pela ANEEL em substituição à REN 819 de 19 de junho de 2018, estabelecendo os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de VEs. Essa normativa apresenta os procedimentos de instalações e equipamentos de estações de recarga. Além disso, ela incentiva tanto concessionária quanto seus clientes a comercializarem a energia elétrica por meio de estações de recarga para os veículos elétricos, iniciativa que tende substancialmente a aumentar o número de estações de recarga pelo país.

As diferenças mais relevantes em relação à REN 819 são as diretrizes para a permissão de

recarga de VEs, inclusive para fins comerciais, também de VEs de propriedade distinta do titular da Unidade Consumidora (UC) com preços livremente negociados, como também estabelece que as concessionárias de energia podem instalar eletropostos nas suas áreas de concessão, a seu critério, destinados à recarga pública dos veículos elétricos. No entanto, é preciso salientar que o art. 555 da REN 1000/2021, veda a possibilidade de injeção de energia na rede elétrica dos VEs, dificultando por ora a difusão do conceito de *Vehicle-to-Grid* (SLOWIK *et al.*, 2018; ANEEL, 2018).

No que concerne aos programas e políticas de incentivo à mobilidade elétrica no Brasil, o Rota 2030 é a primeira política industrial automotiva de longo prazo implantada no Brasil, vigorando de 2018 até 2033, que define uma série de regulações e incentivos com o intuito de aprimorar a competitividade e a logística do sistema de transporte no país (BARASSA *et al.*, 2020).

Entretanto, é importante salientar que este programa não possui como objetivo direto o incentivo para o uso dos VEs, e sim incrementar a eficiência energética dos veículos e maior segurança, além de buscar valorizar a matriz energética brasileira com o uso de biocombustíveis. Nota-se que embora o Brasil possua projetos que visam a seguir a tendência mundial de redução de emissões de poluentes por veículos automotores, estes apresentam caráter embrionário e tímido quando comparado aos países desenvolvidos líderes na mobilidade elétrica no mundo, precisando de um direcionamento determinante no tocante a disseminação dos VEs (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

3. METODOLOGIA

Este capítulo faz uma abordagem dos fundamentos metodológicos desenvolvidos neste trabalho, com base em uma revisão bibliográfica, mediante livros, artigos científicos, dissertações, teses, normas e resoluções a respeito do tema, explorando duas vertentes de abordagem sobre o tema: o aspecto econômico e o aspecto de incentivos políticos e regulatórios.

3.1. Métodos para análise econômica

No contexto da viabilidade econômica são utilizadas metodologias para analisar o momento ideal para investir na eletromobilidade no país, baseados no custo total de propriedade do veículo elétrico, sendo abordado em dois cenários: o cenário de linha de base (atual) e o cenário de incentivos regulatórios e fiscais, seguindo a tendência mundial observada nos países onde a mobilidade elétrica é mais desenvolvida.

O cenário de linha de base captura a situação em que nenhuma meta política e regulatória é imposta para veículos elétricos e as decisões de compra de veículos continuam refletindo tendências históricas. O segundo cenário, denominado como cenário BREV30, incorpora uma meta nacional política e regulatória de mobilidade elétrica, em consonância com o proposto neste trabalho, para alavancar a venda dos veículos elétricos até 2030.

Neste contexto, o custo total de propriedade é um critério amplamente utilizado na literatura para análise de novos produtos e tecnologias. O custo total de propriedade, ou na literatura conhecida por *Total Cost Ownership* (TCO) é definido em NOLLA (2022) como o somatório de todos os custos necessários para adquirir, manter e operar um ativo por um tempo determinado, considerando todos os custos incorridos em diversas etapas de utilização do bem, não apenas o custo inicial de aquisição.

A metodologia do TCO é amplamente aceita como um indicador adequado para estudar a comparabilidade de custos entre dois ou mais projetos, ou no caso deste trabalho duas tipologias de veículos existentes no mercado, o elétrico e o convencional, de marca e modelos similares, conforme WU *et. al* (2015).

Com o objetivo de refinar a análise do TCO ao longo de um determinado período analisado foi incrementado a metodologia do valor presente líquido (VPL) para determinar o valor presente de um investimento futuro descontado a uma taxa de juros menos o custo do investimento inicial. De acordo com MOTTA e CALÔBA (2002), o VPL é um dos critérios mais importantes numa análise econômico-financeira, uma vez que majora o efeito temporal do dinheiro.

A fórmula do VPL é apresentada na Equação (1), em que FC representa os fluxos de caixa líquido no período n , i representa a taxa de desconto a ser aplicada nos fluxos de caixa no período n e N representa o número de períodos.

$$VPL = \sum_{n=1}^N \frac{FC}{(1+i)^n} \quad (1)$$

As literaturas acadêmicas costumam aplicar a taxa de desconto entre 5-8% (BASMA et.al., 2023). A Tabela 1 apresenta um resumo das taxas de descontos aplicadas em pesquisas para cálculo do TCO envolvendo veículos elétricos. Para este trabalho, a taxa de desconto utilizada será de 7% e será útil na determinação do valor presente dos fluxos de caixa de investimentos futuros a serem realizados, como por exemplo, os custos de operação dos veículos ao longo do horizonte de análise.

Tabela 1 – Taxas de descontos aplicadas na literatura para cálculo de TCO.

Taxa de desconto (i) considerada na literatura acadêmica	Referências
6,6%	GARMENDIA et.al. (2023)
6%	AL-ALAWI, BRADLEY (2013)
7%	BREETZA H, SALONB D (2018)
7%	BASMA et.al. (2023)

O custo total de propriedade é uma análise com foco no total cumulativo de custos contribuídos por cada estágio do ciclo de vida de um produto conforme definido por LIL *et. al* (2021), representado pela Equação (2):

$$TCO = C_C + \sum_{n=1}^N \frac{C_O}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Onde o C_C representa o custo de capital do veículo, C_O representa todos os custos operacionais anuais descontados por uma taxa anual de desconto e acrescidos da taxa de reajuste de preços, quando aplicável, em um período de propriedade de N anos. No caso do presente estudo, o TCO também considerará a depreciação dos ativos ao longo do tempo, de forma que o valor de revenda do ativo depreciado ao fim da sua vida útil será considerado um saldo positivo, diminuindo o custo total.

$$TCO = C_A - \frac{V_R}{(1+i)^N} + C_{inf} + \sum_{n=1}^N \frac{C_{man}}{(1+i)^n} + \sum_{n=1}^N \frac{C_{CO_2}}{(1+i)^n} \quad (3)$$

Ou, alternativamente,

$$TCO = \underbrace{C_A - \frac{V_R}{(1+i)^n}}_{\text{Custo de Capital}} + \underbrace{C_{inf}}_{\text{Custo de Infraestrutura de Recarga}} + \underbrace{\sum_{n=1}^N \frac{C_{MAN}}{(1+i)^n}}_{\text{Custo de Manutenção}} + \underbrace{\sum_{n=1}^N \frac{C_{CO_2}}{(1+i)^n}}_{\text{Custo Social do Carbono}}$$

Custo de Capital

Custo de Infraestrutura de Recarga

Custo de Manutenção

Custo Social do Carbono

Custos Operacionais Anuais

Em que:

TCO = *Custo Total de Propriedade*

C_A : *Custo de aquisição do veículo*

V_R : *Valor Residual*

C_{MAN} : *Custo de Manutenção*

C_C : *Custo de Capital*

C_O : *Custo Operacional*

C_{inf} : *Custo de Infraestrutura de Recarga Residencial*

C_{CO_2} : *Custo Social do Carbono*

De forma a corroborar com o estudo, foram selecionados pesquisas e trabalhos recentes que abordaram o Custo Total de Propriedade (TCO) para avaliação de viabilidade econômica no âmbito da mobilidade elétrica, e que foram referência para desenvolvimento do método utilizado neste trabalho, conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Descrição Metodológica dos Estudos sobre TCO no âmbito da mobilidade elétrica

AUTORES	TIPO DE PRODUÇÃO/ ANO	DELINEAMENTO DO ESTUDO	METODOLOGIA	PRINCIPAIS RESULTADOS
Hussein Basma, Claire Buysse, Yuanrong Zhou, and Felipe Rodríguez	ICCT WHITE PAPER, 2023	Custo total de propriedade de tecnologias alternativas para caminhões classe 8	Este trabalho explica a abordagem de modelagem de TCO para caminhões considerando quatro tecnologias: Diesel, Elétrico, Célula de Hidrogênio, Motor de combustão interna a hidrogênio. O modelo converte todos os fixos e despesas operacionais de um determinado modelo de caminhão em fluxos de caixa, considerando o período de análise e taxa de desconto. O período de análise é de cinco anos, considerado representativo de primeira propriedade nos Estados Unidos, e a taxa de desconto é de 7%.	Até 2030, o custo total de propriedade de caminhões elétricos de longa distância a bateria será provavelmente será menor do que seus equivalentes a diesel em todos os estados analisados dos Estados Unidos.
Shiyue Mao, Hussein Basma, Pierre-Louis Ragon, Yuanrong Zhou, Felipe Rodríguez	ICCT WHITE PAPER, 2021	Custo total de propriedade para caminhões pesados na China: Caminhões elétricos a célula de combustível, caminhões elétricos a bateria e a diesel	Este estudo avalia o custo total de propriedade de caminhões elétricos a bateria e elétricos a célula de combustível - com foco em três segmentos de caminhões comerciais mais usados na China. O desempenho econômico desses caminhões é comparado com seus equivalentes a diesel para identificar quando a versão de cada segmento de caminhão pode atingir a paridade de custo com caminhões a diesel, definido como os primeiros 5 anos de propriedade.	O caminhão elétrico a bateria na China terá uma vantagem de custo em relação ao seu diesel a partir de 2024–2025, devido aos caminhões a diesel consumir maior combustível e apresentar custos maiores de manutenção.
Zhe Liu, Juhyun Song, Joseph Kubal, Naresh Susarla, Kevin W. Knehr, Ehsan Islam, Paul Nelson, Shabbir Ahmed	Artigo científico, 2021	Comparação do custo total de propriedade de veículos elétricos a bateria e veículos com motor de combustão interna	Este trabalho se concentra no TCO de veículos elétricos a bateria e veículos com motor de combustão interna com base nos parâmetros nos custos operacionais associados à sua propriedade, em termos de anos operacionais para calcular o cálculo do período de paridade. Este estudo avalia a competitividade de custos durante a operação normal de um veículo em um amplo período de propriedade de 3 a 13 anos.	Este estudo mostrou que um veículo com autonomia elétrica inferior a 200 milhas pode atingir a paridade de custo com um veículo equivalente com motor de combustão interna em 8 anos ou menos.

AUTORES	TIPO DE PRODUÇÃO/ ANO	DELINEAMENTO DO ESTUDO	METODOLOGIA	PRINCIPAIS RESULTADOS
Geng Wu, Alessandro Inderbitzin, Catharina Bening	Artigo científico, 2015	Custo total de propriedade de veículos elétricos em comparação com veículos convencionais: uma análise probabilística e projeção em segmentos de mercado	Este trabalho calcula o custo total de propriedade (TCO) em tecnologias de veículos concorrentes, a combustão e elétrico. Contém uma avaliação abrangente das principais classes de veículos e casos de uso. É utilizado também a simulação de Monte Carlo para analisar distribuições e probabilidades de resultados.	Esse estudo concluiu que eficiência de custo comparativa de EV aumenta com a distância percorrida pelo consumidor e é maior para veículos pequenos do que para veículos grandes. Em termos de análise financeira, o TCO dos veículos elétricos ficará próximo ou até menor do que o dos veículos convencionais até 2025.
Dandan Ji, Hongcheng Gan,	Artigo científico, 2022	Efeitos do fornecimento de informações sobre o custo total de propriedade na intenção de jovens consumidores com menos de 40 anos de comprar um veículo elétrico: um estudo de caso na China	Este estudo investiga como o fornecimento de informações sobre o custo de combustível de 5 anos e o custo total de propriedade afeta as preferências declaradas de jovens consumidores com menos de 40 anos por um veículo a gasolina, híbrido plug-in ou elétrico a bateria no contexto da China. Um modelo <i>logit</i> ordenado por classificação é desenvolvido para modelar as preferências declaradas dos consumidores, com base em dados coletados por meio de um experimento de preferência declarada.	Este estudo evidenciou o efeito positivo significativo de fornecer o custo de combustível de 5 anos e o custo total de propriedade sobre a preferência declarada por veículos elétricos. Atributos socioeconômicos, como gênero e nível educacional, também têm efeitos sobre a intenção de compra de veículos elétricos dos consumidores.

Para a composição do diagnóstico da viabilidade econômica, em escala nacional, são analisadas o custo total de propriedade de um veículo a combustão e elétrico, de modelo similar, em quatro variáveis:

- a) Custo de Manutenção: O custo de manutenção inclui despesas regulares, como troca de óleo, filtros, pneus, freios, reposição de peças desgastadas, revisões periódicas. O custo de

manutenção de um veículo elétrico geralmente é menor em comparação com um veículo a combustão, pois os motores elétricos têm menos peças móveis e requerem menos manutenção. No entanto, os custos exatos variam dependendo do modelo do veículo e da região. São considerados também aqueles custos necessários para a funcionalidade do veículo no dia a dia, como o consumo de combustível ou eletricidade.

- b) **Custo de Aquisição:** O custo de aquisição é o valor pago para adquirir o veículo. Os veículos elétricos geralmente têm um custo de aquisição inicial mais alto do que os veículos a combustão. No entanto, os incentivos fiscais e subsídios disponíveis em diferentes países ou regiões podem reduzir esse custo. Nesse parâmetro, é levado em consideração o valor do bem, os juros e impostos decorrentes do financiamento do veículo, e o valor de revenda após o fim da sua vida útil.
- c) **Custo de Infraestrutura de Recarga:** O custo de infraestrutura de recarga inclui a instalação de um carregador residencial para o consumidor, uma vez que os carregadores públicos não são uma realidade em toda a extensão territorial nacional. Esse custo pode variar significativamente, dependendo das opções de recarga disponíveis e do tipo de carregador escolhido.
- d) **Custo Social do Carbono:** O custo social do carbono é uma estimativa do impacto econômico dos gases de efeito estufa liberados pela queima de combustíveis fósseis. Essa estimativa é usada para avaliar os custos externos associados às emissões de carbono, como danos ambientais e impactos na saúde pública.

Para calcular o custo total de propriedade é somado todos os custos estimados dos veículos ao longo da vida útil. São considerados outros fatores, como o custo da eletricidade, o custo do combustível, os impostos e as taxas de seguro. É importante salientar que os custos podem variar dependendo do modelo específico do veículo, das condições de uso e da localização geográfica. Para efeito de análises de resultados, a localização geográfica utilizada como parâmetro dos custos neste trabalho é o estado do Maranhão.

Os componentes de custo que foram considerados para análise neste trabalho, bem como, as formas de estimação dos parâmetros podem ser visualizadas de forma resumida conforme o Quadro 8. Os valores utilizados para cálculo estão disponíveis no APÊNDICE deste trabalho.

Quadro 8 – Composição dos Custos para cada categoria de análise do TCO

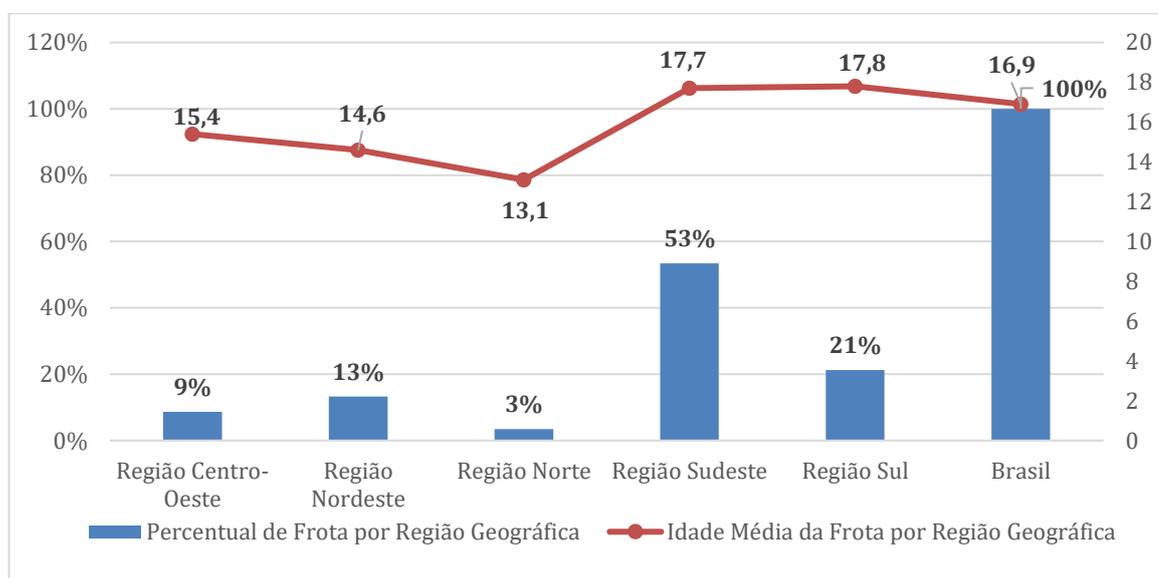
Categoria de análise	Componente	Operacionalização	Formas de Estimação
Aquisição dos veículos	Entrada	Pagamento inicial para a compra dos veículos	Dados disponíveis da montadora dos veículos escolhidos para análise. RENAULT (2023), PEUGEOT (2023)
	Financiamento	Pagamento de amortização e juros por determinado período	Dados disponíveis da montadora dos veículos escolhidos para análise. RENAULT (2023), PEUGEOT (2023)
	Valor de revenda	O tempo de operação do veículo for menor que a sua vida útil, será considerado o valor de revenda do veículo depreciado como fluxo de caixa positivo	Estimativa realizada com base nas informações divulgadas pelo estudo GARMENDIA et.al. (2023) para veículos elétricos e Instrução Normativa SRF N° 162, de 31 de dezembro de 1998 da Receita Federal para veículos convencionais
	Impostos e Taxas: IPVA, IPI, ICMS, PIS/COFINS	São os principais impostos associados na compra e aquisição de um veículo	Estimativa realizada pela combinação de dados do Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, ANFAVEA (2023), do INMETRO (2023), da RECEITA FEDERAL (2022) e SEFAZ-MA (2023)
Infraestrutura	Infraestrutura de recarga	Desembolso inicial para compra de infraestrutura de recarga residencial, levando em consideração que o número baixo de infraestrutura de recarga públicas disponíveis no estado avaliado	Estimativa realizada com base nos dados divulgados pelo estudo GARMENDIA et.al. (2023)
Operação e Manutenção	Consumo de combustível ou Consumo de Energia	Custo anual para abastecer o veículo, determinado pela eficiência do combustível, pela distância percorrida no ano e pelo preço do combustível/energia elétrica.	Consulta aos dados divulgados pela PETROBRAS (2023) e pela concessionária de energia do estado do Maranhão
	Seguro do veículo	Custo anual para seguro do veículo considerando um indivíduo com 27 anos, do sexo feminino, casada, residente na capital do estado do Maranhão	Estimativa feita em utilização do simulador "ComparemCasa" com valores estimados da Tokio Marine Seguradora, (este simulador compara os valores de seguros de diversas seguradoras).
	Manutenção do veículo	Custo anual para manutenções regulares e periódicas do veículo, considerando reposição de peças desgastadas, trocas de óleo e as revisões a cada 10.000km rodados	Dados disponíveis da montadora dos veículos escolhidos para análise. RENAULT (2023), PEUGEOT (2023)
Emissão de Poluentes	Custo Social do Carbono	Mensuração do impacto ambiental causado pela emissão de gases estufa para a natureza	Estimativa realizada com base em uma combinação de dados: preço da tonelada de carbono divulgados pelo GARMENDIA et.al. (2023) e a quantidade de emissão de gás estufa de cada modelo divulgado em INMETRO (2020).

Um parâmetro importante a ser considerado na análise é a porcentagem de depreciação do

veículo, seja elétrico ou convencional, que está intimamente relacionado com o tempo de vida útil do bem. A Receita Federal, por meio da Instrução Normativa SRF Nº 162, de 31 de dezembro de 1998, apresenta a tabela para o cálculo da depreciação de veículos que aponta para uma desvalorização média de 20% ao ano para carros de passeio. Entretanto, essa análise considera uma vida útil de 5 anos, o que não é condizente com a realidade da frota nacional.

Segundo a Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE), a idade média dos carros circulando em 2022 no Brasil é de 16 anos, conforme representado na Figura 16. A comercialização de veículos com mais de 10 anos cresceu de 52,3%, em 2021, para 55,3% em 2022, o que representou um crescimento de 2,4% em relação a 2021 na frota brasileira de veículos.

Figura 16 – Composição e Idade Média da Frota Circulante de Veículos por região geográfica.



Fonte: Adaptado de FENABRAVE, 2022.

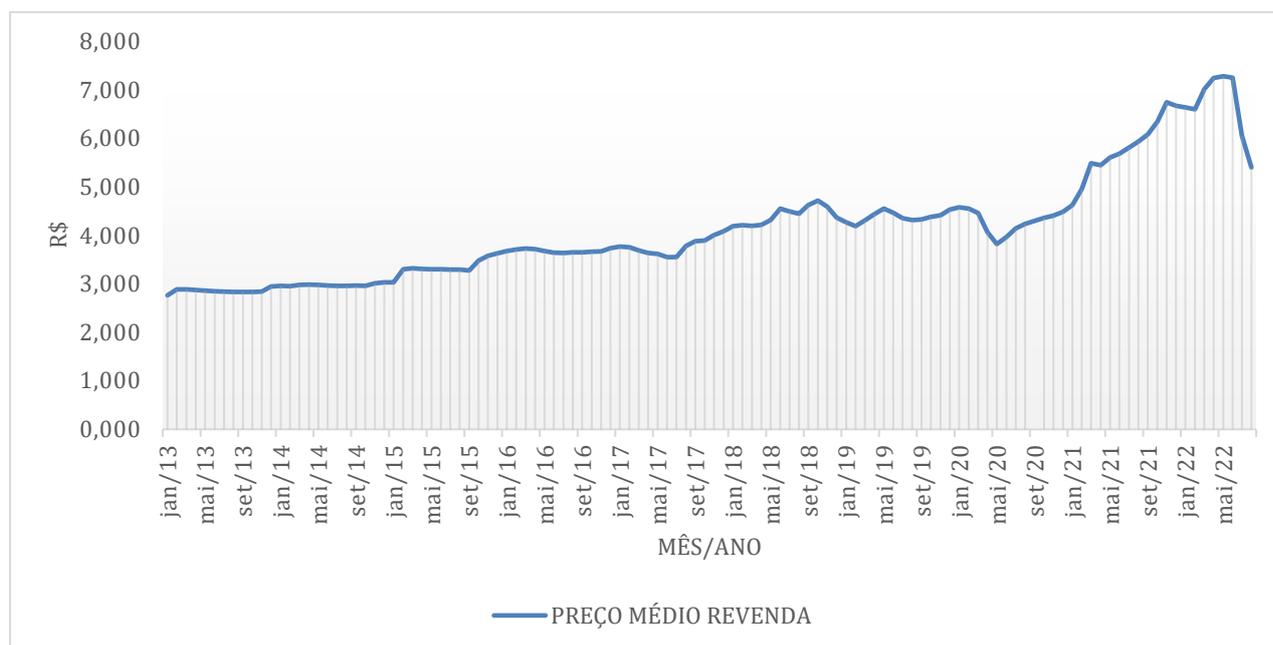
De acordo com GARMENDIA et.al. (2023), os veículos elétricos depreciam mais rapidamente do que os convencionais, a ponto de poderem ser mais baratos os seus valores de revenda. No Brasil, ainda não há informações oficiais com relação a depreciação dos veículos elétricos, deste modo, considerando uma depreciação maior quando comparada com os veículos convencionais, foi adotado o valor de revenda de 15% do valor inicial do carro elétrico após o ciclo de vida útil, considerado para 5 anos, o mesmo período considerado para os veículos convencionais.

Com relação aos valores de seguros, foi realizada uma simulação em uma corretora de seguros nacional para todos os modelos de veículos analisados, levando em consideração que os veículos são novos (0 km) do ano de 2023, bem como, tomado como referência os valores da

mesma seguradora para todos os modelos. Os valores utilizados foram os simulados para o perfil de consumidor: Sexo: Feminino, Estado Civil: Casado, Idade: 27 anos, residente em São Luís do Maranhão. É importante notar que esses valores variam de acordo com o perfil do consumidor e do modelo/ano do veículo adotado.

Outro fator a ser considerado no cálculo é a variação anual do preço dos combustíveis, neste caso foram utilizados os dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, observada a variação dos preços médios de revenda da gasolina comum, de 2013 a 2022, o que apresentou um aumento médio de 7,5% por ano, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17 – Preço Médio de Revenda da Gasolina Comum no Brasil entre 2013 - 2022



Fonte: ANP, 2023.

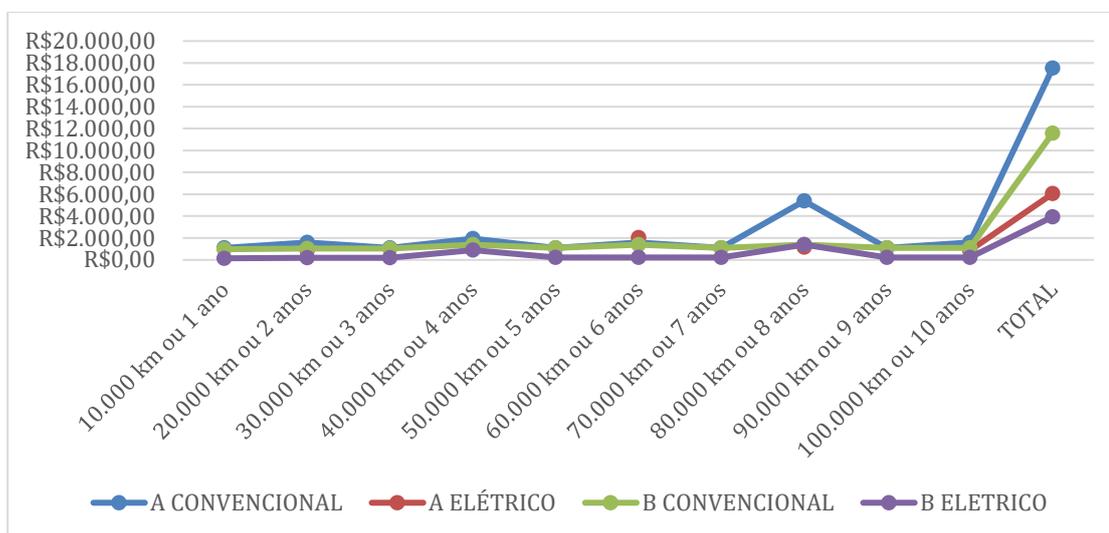
No que concerne aos custos associados a manutenção dos veículos foi feito uma pesquisa com as concessionárias dos veículos dos modelos adotados neste estudo. As manutenções consideradas no estudo foram as revisões periódicas mandatórias sugeridas pelos fabricantes, a cada 10.000 km rodados ou 1 ano, exceto no caso do modelo A Elétrico que o fabricante define a revisão periódica a cada 20.000 km ou 1 ano.

O custo de manutenção e reparo é menor para os veículos elétricos a bateria em comparação com os veículos convencionais, uma vez que os veículos elétricos apresentam menos peças móveis que não precisam de troca de óleo ou filtro e menos rasgos nas pastilhas de freio devido à sua forte frenagem regenerativa. Com relação aos custos de manutenção associados exclusivamente a utilização do veículo a combustão, a troca do óleo representa uma parcela desse custo, os fabricantes indicam a troca do óleo a cada 6 (seis) meses ou a cada 10.000km rodados.

O preço médio da troca de óleo verificada em uma concessionária de veículos no Brasil

custa R\$236,00. Tendo em vista que neste trabalho será considerado uma distância média de 13.000 km rodados no ano, a troca de óleo deverá ocorrer pelo tempo, sendo assim foi incluído o valor de duas trocas de óleo por ano nos cálculos. Na Figura 18 são apresentados os custos de serviço estimados pelos fabricantes durante o período de análise de 10 anos.

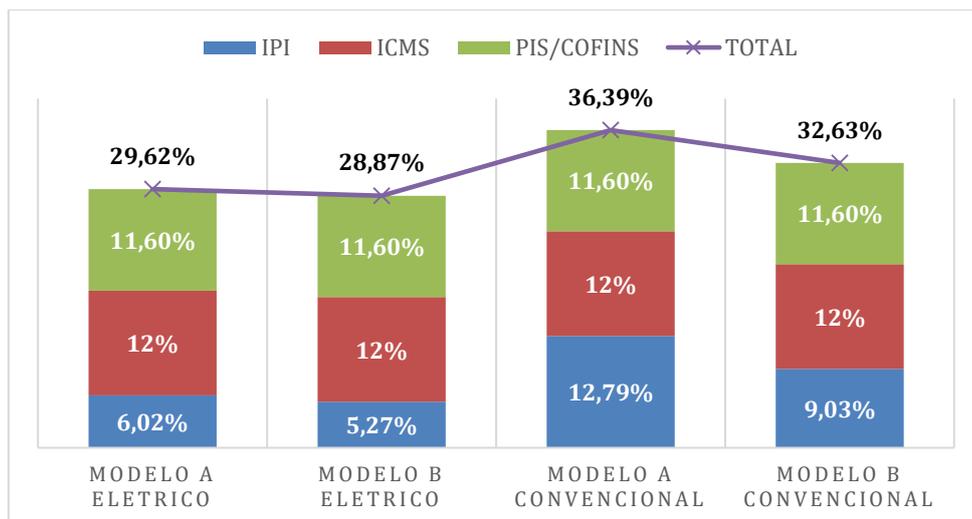
Figura 18 – Custos de Manutenção Periódica dos Veículos avaliados no trabalho



Fonte: AUTORA, 2023.

Os principais tributos considerados sobre o valor do veículo no Brasil são o imposto de importação para os veículos importados, em torno de 35%. No caso dos veículos elétricos, a Resolução nº 97/2015 zerou a alíquota de impostos sobre veículos elétricos importados até 2025. Neste caso, essa taxa não será considerada nos cálculos deste trabalho. Atualmente, as taxas tributárias que incidem sobre os veículos adotados neste trabalho estão demonstradas na Figura 19. É importante salientar que no caso do IPI, a alíquota varia de acordo com a eficiência energética, do motor/combustível, e da massa em ordem de marcha, com isto, os veículos elétricos apresentam melhores condições de IPI em comparação aos veículos convencionais.

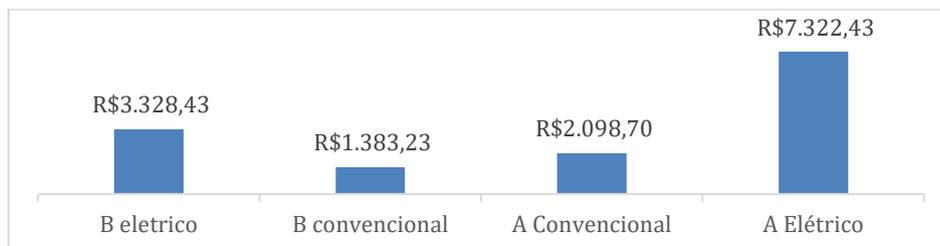
Figura 19 – Participação dos tributos nacionais sobre os veículos analisados neste trabalho



Fonte: AUTORA,2023.

Além dos tributos demonstrados acima, é preciso considerar a alíquota do IPVA, que varia de acordo com o modelo, marca, ano, localidade e podem variar de 2% a 4% do valor da venda. Conforme apresentado na fundamentação teórica deste trabalho já existem incentivos fiscais parciais e totais sendo aplicados em alguns estados brasileiros. Dessa forma, o cenário base não irá considerar o valor do IPVA. Entretanto, será avaliado neste estudo o impacto da isenção desta alíquota no custo total de propriedade visto que o valor aplicado para os modelos elétricos é mais do que o dobro em comparação aos modelos convencionais, conforme Figura 20.

Figura 20 – Participação dos tributos de IPVA sobre os veículos analisados neste trabalho



Fonte: AUTORA,2023.

A metodologia para cálculo do custo social do carbono utilizada neste trabalho baseou-se no estudo GARMENDIA et.al. (2023) divulgado pelo Banco Mundial. Em termos de análise econômica, as estimativas de emissão de gases do efeito estufa pelos veículos são convertidos em custos monetários. As diretrizes do Banco Mundial recomendam o preço de US\$ 40 a US\$ 80 por tonelada de CO² equivalente em 2020, subindo para US\$ 60 a US\$ 100 em 2030 (Banco Mundial 2017). Neste estudo, serão utilizados os limites inferiores sugeridos de preço do carbono.

De acordo com dados do INMETRO (2023), os modelos A e B convencionais emitem 112 gramas e 84 gramas de CO² fóssil por quilômetro rodado, respectivamente. Levando em

consideração, um veículo percorre em média 13.000 quilômetros por ano tem-se 1,456 toneladas de gases do efeito estufa para o modelo A e 1,092 toneladas de gases do efeito estufa, com custos sociais do carbono associados de R\$ 287,65 por ano para o modelo A e R\$ 215,74 por ano para o modelo B com uma taxa de reajuste de 7% ao ano.

Segundo dados divulgados pela Associação dos Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres (Abrace), nos últimos 5 anos, o custo da energia elétrica no Brasil aumentou 47%. Deste modo, neste trabalho será considerado um reajuste anual médio de 9%. O valor do kWh brasileiro ocupa o *ranking* dos países com maiores custos de tarifas de energia, ficando em segundo lugar, perdendo apenas para a Colômbia.

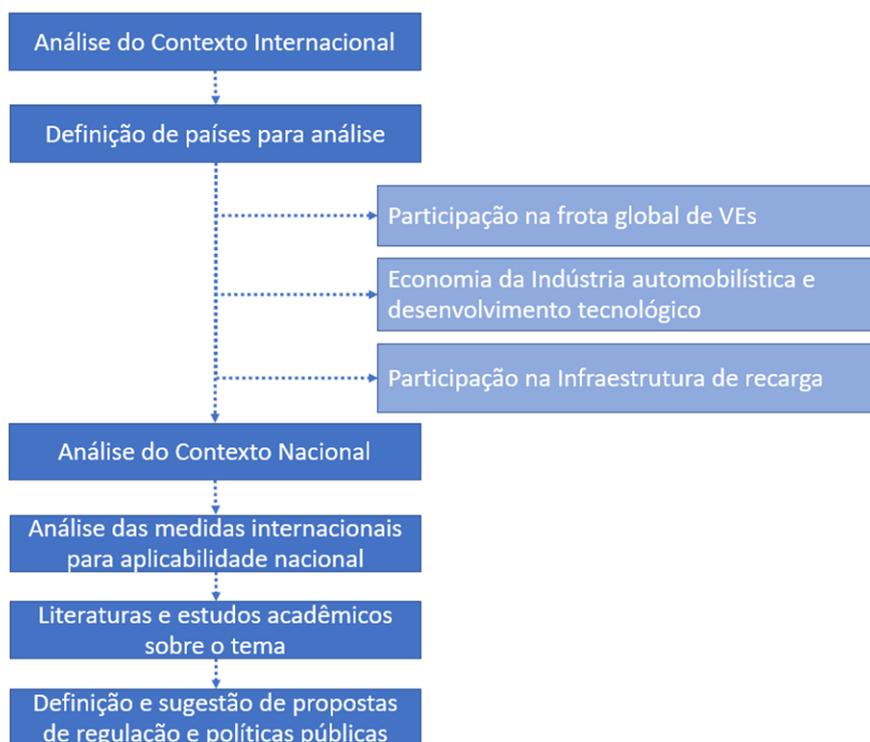
Contudo, foram considerados para o cálculo do custo total de propriedade os gastos entendidos como regulares para os 4 (quatro) modelos avaliados neste estudo, em um período de 10 anos de uso dos automóveis, com o preço pago pelo veículo, consumo, custo com manutenção, impostos e taxas, seguro, financiamento, depreciação, entre outros. Para tratamento dos dados, utilizou-se de planilhas processadas no Microsoft Office Excel 2023. O resumo com os parâmetros obtidos está disponível no APÊNDICE deste trabalho.

3.2.Métodos para análise regulatória e de políticas públicas

No que concerne aos métodos utilizados para proposição de ações regulatórias e políticas públicas com o intuito de acelerar o ritmo da mobilidade elétrica no Brasil foram realizados estudos dos cenários de implantação da eletromobilidade no âmbito internacional, identificado as boas práticas aplicadas, bem como os principais atores e propulsores deste movimento global.

Em seguida, é feito o diagnóstico interno das normas, políticas e regulamentos em vigência no país com o intuito de determinar o contexto de maturidade nacional na implantação dessa tecnologia, e avaliar a aplicabilidade dos incentivos internacionais respeitando a particularidade e a prioridade de implantação para o Brasil. Na Figura 21 é demonstrado o procedimento metodológico desenvolvido para proposição do arcabouço político-regulatório nacional.

Figura 21 – Procedimento Metodológico aplicado na pesquisa



Fonte: AUTORA,2023.

Em contribuição ao estudo, foram identificadas e analisadas as literaturas acadêmicas que abordam propostas de N&R para a mobilidade elétrica no enquadramento do Brasil. Embora este tema no país seja tratado de maneira embrionária, os estudos mais recentes realizam consulta e ratificação com especialistas, representantes de atores-chave e instituições de apoio para confirmação das proposições com o objetivo de incentivar a eletromobilidade, na medida em que mobilizam a sociedade para a transição energética do transporte de carga e passageiros. No Quadro 9 são apresentados os principais temas abordados nas literaturas estudadas.

Quadro 9 – Literaturas Acadêmicas que abordam o tema de regulação e políticas públicas no Brasil

TEMA	LITERATURAS ACADÊMICAS			
	D'Agosto <i>et al.</i> , 2020	Wady, A. F., 2021	MAO <i>et. al.</i> , 2021	BARASSA <i>et. al.</i> , 2022
Meio Ambiente	✓			
Infraestrutura	✓	✓		✓
Mercado	✓		✓	✓

4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos sobre as propostas de incentivo para compor o cenário ideal para implantação e expansão da mobilidade elétrica no Brasil, apresentando também os resultados das análises da viabilidade econômica para aquisição da tecnologia aplicados no cenário atual e no cenário proposto ideal.

4.1. Análise Regulatória e de Políticas Públicas no âmbito nacional

A regulação da mobilidade elétrica no Brasil tem a função de criar incentivos não apenas para o consumo dos veículos elétricos, como também para a melhoria da infraestrutura e da tecnologia envolvida. Nesse sentido, a regulação possibilita direcionar a trajetória desta tecnologia de modo a criar soluções flexíveis que atendam todos os consumidores e garantir a interoperabilidade de tudo o que envolve a prestação desse serviço, desde a padronização de equipamentos até a definição de protocolos de comunicação.

Tendo em vista o papel da regulação em ser um agente de incentivo para a disseminação dos veículos elétricos na matriz energética brasileira, são apresentados os seguintes questionamentos: Qual seria o cenário ideal para o desenvolvimento da mobilidade elétrica no Brasil? Por que a mobilidade elétrica precisa de regulação e de incentivos políticos? Qual o impacto dessas ações para a disseminação dos veículos elétricos no Brasil? Esta seção busca trazer argumentos que respondam a estas perguntas através de estudos e análises das revisões bibliográficas documentais acerca da mobilidade elétrica, principalmente dos países detentores do pódio dessa tecnologia.

As proposições dos instrumentos regulatórios e políticos deste trabalho teve como objetivo promover a disseminação dos veículos elétricos no Brasil até que se reduza o custo inicial de propriedade e aconteça a paridade de custos com a tecnologia convencional, como é amplamente esperado que aconteça no devido tempo. Nesta seção, este cenário adequado será denominado de cenário BREV30, sendo agrupados nas categorias listadas no Quadro 10:

Quadro 10 – Categoria das propostas de regulação e políticas públicas

Categorias das propostas de regulação e políticas públicas
Meio ambiente
Infraestrutura
Mercado

4.1.1. Meio ambiente

O Brasil possui a oportunidade de tornar a meta de redução dos gases do efeito estufa mais assertiva, de forma a seguir a tendência praticada mundialmente. Atualmente, o país prevê a redução de 37% suas emissões em 2025, e 50% em 2030, em comparação a 2005. Entende-se que esta meta acarreta uma relatividade e não demonstra claramente o posicionamento do país, em termos absolutos de emissão, em um horizonte de tempo. Com isto, é necessário que seja estabelecido no país o rigor regulatório com foco no direcionamento do futuro em termos absolutos para zero emissões dos veículos automotores, por meio de metas de incentivo em programas de isenção fiscal nacional.

Outra oportunidade identificada é a intervenção regulatória para o descarte adequado das baterias dos veículos elétricos, que segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), representará cerca de 5.750.000 toneladas de lixo de baterias até 2040. Uma alternativa promissora é alteração dos direitos de propriedade das baterias dos veículos elétricos, com o objetivo de promover a reciclagem desse componente. Dessa forma, as baterias dos veículos elétricos continuam a ser propriedade do fabricante, ou seja, os clientes podem comprar os seus veículos elétricos, mas apenas alugar a bateria de forma a potencializar a circularidade e reciclagem deste material.

4.1.2. Infraestrutura

A regulamentação vigente apresenta um caráter incipiente, em questão de infraestrutura para disseminação da mobilidade elétrica no Brasil, pois não estabelece detalhes importantes para a padronização das estações de recarga em todo o país, especificamente no que tange a variedade existente dos plugues e conectores para carregamento dos veículos elétricos devendo estabelecer minimamente uma padronização que atenda em grande parte as configurações existentes dos VEs. A regulação vigente também apresenta impossibilidades a reserva e injeção de potência na rede elétrica através dos veículos elétricos para apoio à operação do sistema, descongestionando circuitos e apoiando o equilíbrio entre procura e oferta.

Em continuidade as lacunas identificadas no cenário brasileiro de mobilidade elétrica, em termos de infraestrutura, têm o investimento em instalação de pontos de comunicação de internet em postos de recarga públicos e privados dos veículos elétricos, de forma a garantir a interoperabilidade para fins de compartilhamento de dados.

4.1.3. Mercado

No que diz respeito ao mercado, existe a necessidade de um arcabouço regulatório e comercial para criar um ambiente propício à disseminação da mobilidade elétrica para os consumidores, empresas e o setor público, bem como incentivar a exploração de novos modelos de negócio proporcionados pela mobilidade elétrica. De modo a contribuir com a popularização dos veículos elétricos é preciso enfrentar uma das primeiras barreiras enfrentadas pelo consumidor que é o custo de aquisição desse veículo.

Uma das alternativas propostas neste trabalho para enfrentar esta barreira é a revisão na tributação incidente sobre os carros elétricos (IPI, PIS/COFINS, ICMS, II, IPVA). Com isto, sugere-se o cenário de redução em 80% (IPI, PIS/COFINS, ICMS) e isenção (II, IPVA) das alíquotas dos impostos incidentes até 2035. A partir deste ponto, ajustes poderão ser feitos para chegar ao ponto de equilíbrio entre tecnologias.

Outra oportunidade vislumbrada é a reforma dos impostos sobre a energia elétrica, que apresenta uma tendência histórica de aumento de 47% nos últimos 5 anos. Com isto, sugere-se que haja uma reformulação dos impostos incidentes sobre as tarifas de energia pelos próximos 10 anos, bem como implantação de tarifas horárias para persuadir carregamentos em horários que não haja o congestionamento da rede elétrica.

A expansão da eletromobilidade demanda a qualificação profissional da mão de obra para atuar nas diversas frentes de trabalho atreladas ao setor, incluindo o desenvolvimento, manufatura e manutenção dos veículos e seus componentes. Esta ação reflete nos preços dos seguros e das revisões, que atualmente são mais caros do que os convencionais devido à falta de profissionais capacitados e conhecimento sobre essa nova tecnologia. Contudo, é necessário que essas novas profissões decorrentes da mobilidade elétrica sejam reguladas pela Classificação Brasileira de Ocupação (CBO).

4.1.4. Propostas de Regulação e Políticas Públicas para o Brasil

O Quadro 11 resume as propostas de regulação e políticas públicas para a mobilidade elétrica no enquadramento do Brasil, de forma a promover a paridade com o custo total de propriedade com as tecnologias convencionais. Destaca-se que as propostas foram elaboradas para a padronização, aquisição e operação da nova tecnologia visando a popularização dos veículos elétricos no mercado consumidor brasileiro, e que a análise não quantifica o custo da política para o governo, pois isso está além do escopo deste trabalho.

Quadro 11 – Resumo das propostas de regulação e políticas públicas para mobilidade elétrica no Brasil

TEMA	PROPOSTAS DE REGULAÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O BRASIL
Meio ambiente	Estabelecer metas governamentais para reduzir (curto prazo) e eliminar (longo prazo) as emissões de gases de efeito estufa provenientes do setor automotivo;
	Incentivar novos serviços de mobilidade, desde que contribuam diretamente para a redução de emissões, como o <i>car-sharing</i> e <i>leasing</i> ;
	Estabelecer metas para a eletrificação da frota de veículos de transporte público, como ônibus elétricos com programas de isenção fiscal nacional.
	Alteração dos direitos de propriedade das baterias dos veículos elétricos, tornando as fabricantes dos veículos responsáveis pelo descarte correto da bateria, bem como sua devida substituição ao final da vida útil;
	Metas de longo prazo para eliminar as vendas de veículos com motor de combustão interna e metas de curto prazo para estoque e vendas de VE com programas de isenção fiscal nacional;
Infraestrutura	Implementação da tecnologia V2G, para possibilitar a reserva e injeção de potência para apoio à operação do sistema, com a definição de parâmetros e infraestrutura adequada para interligação com a rede elétrica;
	Promover a adequação do sistema elétrico nacional aos requisitos de uma gestão inteligente do carregamento de veículos elétricos e integração com geração distribuída;
	Estabelecer que todo e qualquer posto de recarga de veículo elétrico no Brasil tenha comunicação com a internet para fins de compartilhamento de dados;
	Implantar incentivos fiscais e subsídios para instalação de infraestruturas de carregamento privadas e públicas;
	Definir um padrão para conectores em postos de carregamento de veículos elétricos públicos e privados no Brasil;
	Designar para as distribuidoras de energia realizarem toda e qualquer fiscalização necessária referente as infraestruturas de recarga;
	Incentivo à pesquisa e desenvolvimento na área de mobilidade elétrica para o avanço da tecnologia dos principais componentes do VE;
Mercado	Criar subsídios para aquisição de VEs como redução de cerca de 80% dos impostos (IPI, PIS/COFINS, ICMS) e isenção total do imposto de importação e IPVA de forma a mitigar o alto preço de aquisição até 2035;
	Promover linhas de financiamento e crédito para aquisição de VEs mais atrativos, com redução de cerca de 60% dos juros comumente cobrados em torno dos financiamentos atuais;
	Definição de tarifas diferenciadas de energia, incentivando o processo de recarga de veículos elétricos em horários não congestionados;
	Políticas de circulação privilegiada para VEs como isenção ou descontos em pedágios, estacionamentos e zonas de baixas emissões;
	Benefícios fiscais e financiamentos para empresas do setor de forma a promover a política industrial e o desenvolvimento da cadeia produtiva da mobilidade elétrica;
	Redução dos valores de manutenção, revisão e seguros em torno de 50%, com investimentos na capacitação da cadeia de valor (profissionais) da mobilidade elétrica;
	Regulação das profissões associadas a mobilidade elétrica pela CBO.

4.2. Análise Econômica da Mobilidade Elétrica no Brasil

Embora a mobilidade elétrica do setor de transportes seja uma promessa promissora para a futura descarbonização do setor de transportes, muitos formuladores de políticas, bem como,

consumidores no Brasil estão tentando entender se faz sentido investir nessa tecnologia, e em caso afirmativo, quando e como prosseguir tal transição. A economia da mobilidade elétrica aborda várias questões: O maior custo de capital dos veículos elétricos (VEs) é compensado por menores custos de funcionamento de manutenção e operação? Seria preferível esperar até que a mudança tecnológica e a escala global reduzir ainda mais os custos da tecnologia de veículos elétricos? A mudança para a mobilidade elétrica pode ser justificada puramente em termos de mitigar a poluição local do ar?

Até que ponto a ampla gama de impostos, importação e subsídios cobrados sobre veículos, bem como sobre combustíveis e eletricidade e serviços distorcem substancialmente as escolhas do consumidor entre VEs e aqueles movidos por motores de combustão interna? Embora os veículos elétricos sejam socialmente desejáveis devido a todos os aspectos envolvendo os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODSs), é possível que essa tecnologia se torne atrativa financeiramente sem incentivos, políticas públicas e regulatórias promovidos por atores governamentais no Brasil?

Ao final da vida útil das baterias, os consumidores deverão substituir parcialmente as células, ou sem sua totalidade, haverá mercado para reciclagem das baterias dos veículos elétricos? Haverá subsídios e incentivos, para aquele consumidor que direcionar a sua bateria para reciclagem? E quanto a possibilidade de reuso das baterias? Esse cenário ainda não está completamente definido mundialmente, visto que a venda dos veículos elétricos em larga escala ocorre a cerca de uma década, e grande parte das baterias ainda estão em sua vida útil, segundo dados dos fabricantes da tecnologia. O Brasil, por sua vez, tem a chance de preparar o mercado para a solução que apresentar os melhores resultados, econômicos, tecnológicos e ambientais.

Este trabalho desenvolveu uma metodologia para quantificação dos custos de propriedade de veículos sendo elétricos e convencionais, com modelos similares, com uma composição de parâmetros atuais, do ano corrente, para cada um dos elementos de custo individuais, com o intuito de explorar e analisar os resultados econômicos e aplicação dos resultados regulatórios. Foi assumida uma janela de análise de 10 anos e dois cenários de caracterização de parâmetros: o cenário base, mais conhecido como cenário atual e o cenário BREV30, com implementação de políticas e regulação de incentivo para veículos elétricos no Brasil.

Os modelos dos veículos analisados, são denominados neste trabalho de A e B, e representam veículos compactos, com o modelo A apresentando mais recursos tecnológicos e sofisticados, e o B um veículo popular, de menor preço, para o usuário. A escolha dos modelos dos veículos baseou-se nos atributos que norteiam a decisão do consumidor para compra de

automóvel no Brasil. SAMPAIO (2004) mostra que os principais atributos que influenciam a decisão de compra são a qualidade, o preço e a confiança na marca.

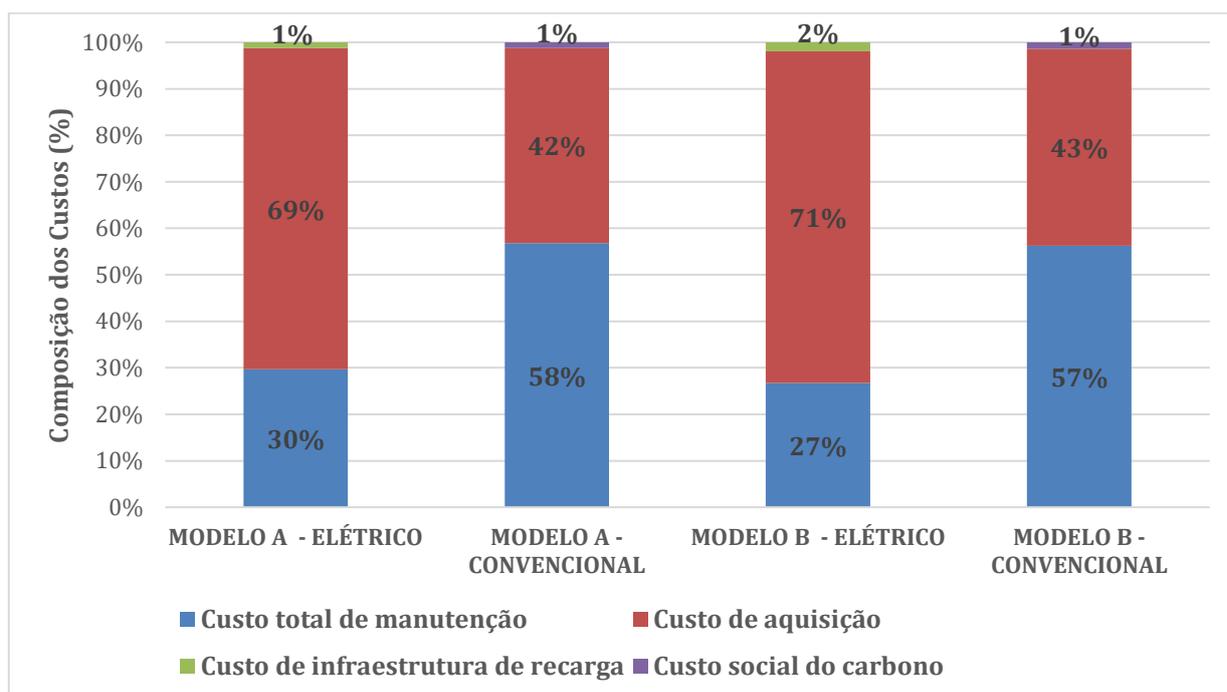
4.2.1. Resultados Obtidos - Cenário Base

A constituição dos parâmetros do cenário base baseou-se nos valores de mercado aplicados no Brasil em 2023. O custo de aquisição representa todos os custos associados para se adquirir o bem, incluindo o desembolso inicial de entrada, as parcelas e juros do financiamento, as taxas de impostos associadas, bem como o valor residual do veículo ao final da sua vida útil. O custo de manutenção é todo o custo relacionado para operar e manter o veículo ao longo da sua vida útil, como exemplo do consumo de combustível e das manutenções necessárias.

O custo social do carbono é um valor considerado apenas para os veículos convencionais, calculados de acordo com a quantidade de emissão de CO² por quilômetro rodado de cada modelo analisado. O custo de infraestrutura de recarga é um valor considerado apenas para os veículos elétricos, para o carregamento da bateria por meio da rede elétrica.

Após análise realizada da composição dos custos existentes para os modelos de veículos analisados, sendo convencionais e elétricos, foi possível verificar que o custo inicial de aquisição dos veículos elétricos em ambos os modelos avaliados representa cerca de 70% da composição total dos custos conforme apresentada na Figura 22, enquanto o veículo convencional representa cerca de 30%. Este fator, analisado em primeira instância, impacta negativamente o consumidor na decisão de comprar um veículo elétrico.

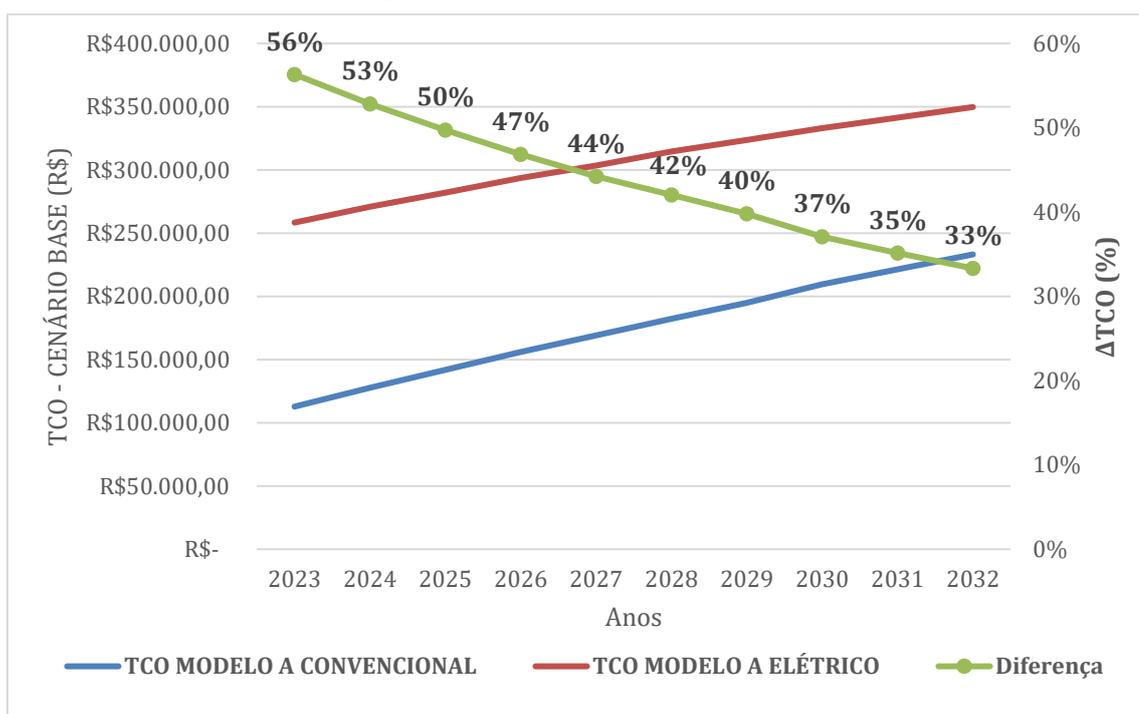
Figura 22 – Percentual da Composição dos custos para modelos e tecnologia de veículos



Fonte: AUTORA,2023.

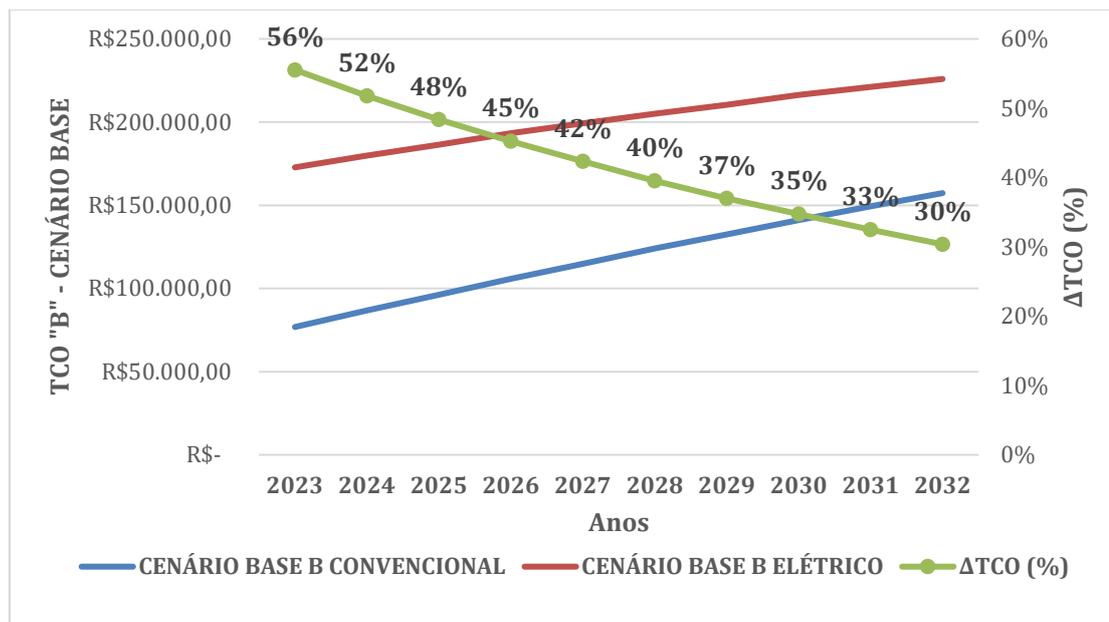
Entretanto, há outros fatores que precisam ser analisados ao longo do tempo que contribuem para a melhor escolha da tecnologia de locomoção adotada. A Figura 23 apresenta o custo total de propriedade para se adquirir e manter o veículo de modelo A, nas configurações elétrica e convencional, com valores reais e atuais do mercado nacional. É importante salientar que essa análise foi realizada no cenário base, do qual não há incentivos ou subsídios associados na sua aquisição, ou seja, no cenário atual. A análise do veículo modelo B, representada pela Figura 24, seguiu os mesmos critérios citados para o modelo A.

Figura 23 – Comparativo do TCO do veículo modelo A – Cenário Base



Fonte: AUTORA,2023.

Figura 24 – Comparativo do TCO do veículo modelo B – Cenário Base



Fonte: AUTORA,2023.

Os resultados obtidos na análise do custo total de propriedade de veículos no cenário base, sendo um veículo à combustão e outro elétrico do mesmo modelo, constatou que o veículo convencional é mais atrativo financeiramente ocasionado pelo alto custo de aquisição do carro elétrico. Entretanto, com o passar dos anos a diferença de TCO entre os modelos diminui de 56% para cerca de 30% em 10 anos.

A diminuição entre a diferença do custo de propriedade entre as duas tecnologias pode ser explicada devido a grande quantidade de peças móveis dos veículos convencionais, que é cerca de 10 vezes menor quando comparado ao veículo elétrico. Com isto, quanto maior for o número de peças maior é a probabilidade de ocorrer algum defeito e necessitar de manutenção. Outro ponto importante que contribuiu para este resultado é a oscilação do valor dos combustíveis no Brasil, que apresenta uma tendência de aumento médio de 7,5% por ano em um horizonte observado de 10 anos.

O uso dos combustíveis fósseis acarreta outro fator de custo associado, que é o custo social do carbono, que também apresenta um índice de reajuste anual de crescimento, uma vez que o preço do carbono emitido gira em torno de US\$ 40 por tonelada, que é o limite inferior da orientação oficial do Banco Mundial sobre o valor-sombra do carbono, e aumenta gradualmente para US\$ 60 por tonelada até 2030.

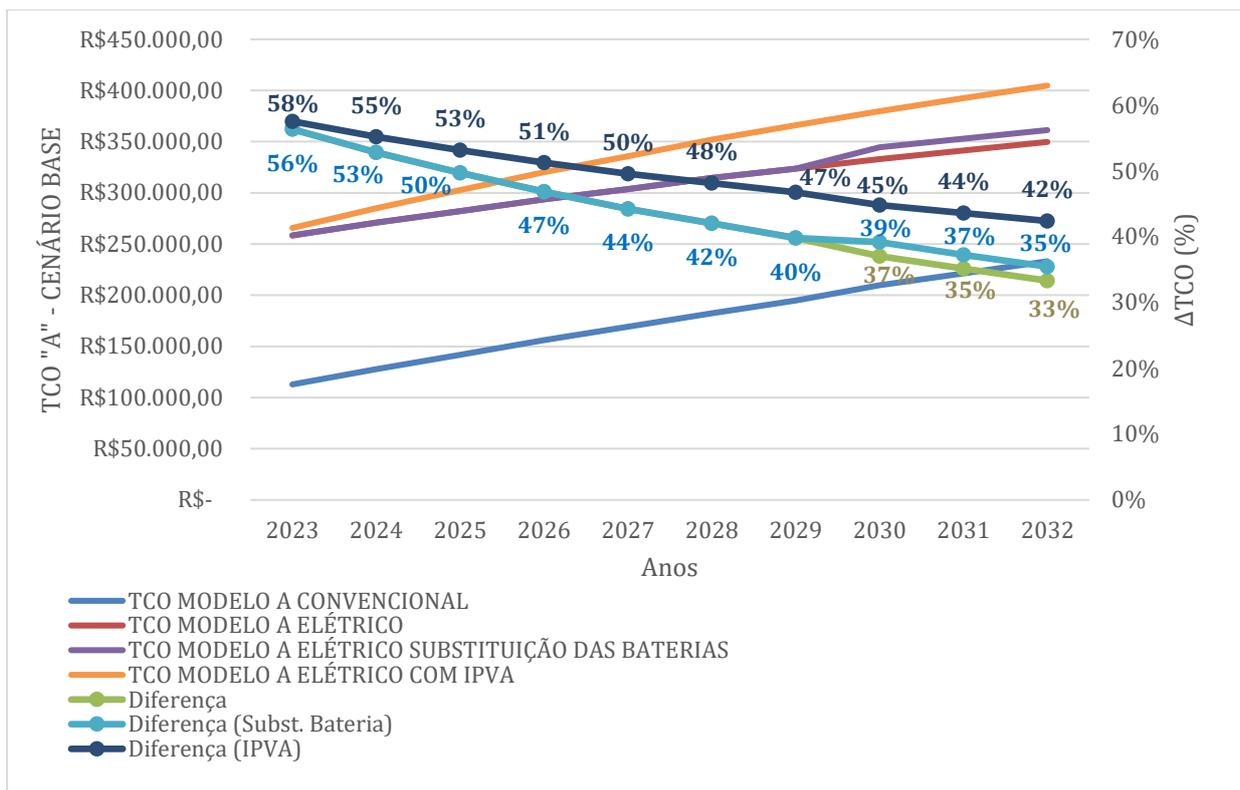
O resultado obtido retrata a situação da mobilidade elétrica no Brasil. Os preços dos carros elétricos em comparação aos veículos a combustão são cerca de 138% mais caros, e embora haja um maior custo de manutenção e operação associados aos carros convencionais, não compensa investir nos carros elétricos atualmente no Brasil, devido ao alto custo de aquisição. Considerar o

valor presente líquido dos itens variantes no tempo é fundamental para que a análise seja feita corretamente considerando o efeito temporal do dinheiro. Ao desconsiderar essa metodologia, os resultados mudam substancialmente.

Entretanto, é importante salientar que o cenário inicial não previu a troca da bateria do carro elétrico após o fim da sua vida útil, apontada pelos fabricantes dos veículos em torno de 8 (oito) anos. Outro fator que não foi considerado no cenário inicial foram as alíquotas do imposto IPVA que incidem sobre os veículos anualmente, destacando que alguns estados brasileiros já possuem incentivos de isenção de IPVA para carros elétricos, mas essa realidade ainda não se aplica para todo o território nacional. Com o intuito de avaliar o impacto das inclusões desses fatores foi realizada a simulação e calculado o custo total de propriedade dos modelos A e B, com a substituição completa das baterias no 8º ano de uso e o IPVA a cada ano.

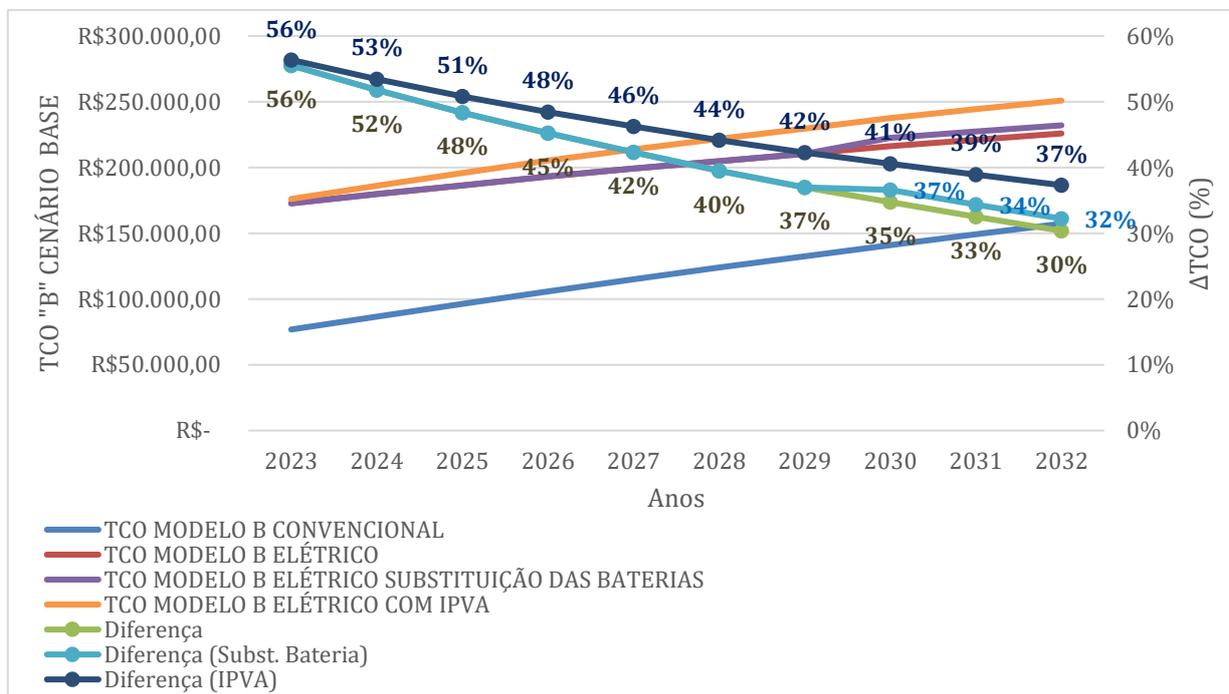
A inclusão do custo da substituição das baterias aumenta a diferença do TCO entre as tecnologias avaliadas em torno de 2%. Com relação ao fator da alíquota de IPVA, aumenta a diferença do TCO em torno de 9%. Tais inclusões distorcem a projeção de equiparação de custos de propriedade para uma perspectiva de tempo maior, conforme demonstrado nas Figura 25 e Figura 26. Neste horizonte, provavelmente, o veículo já estará no final da sua vida útil, e respeitando a idade média dos veículos no Brasil, que é em média de 16 anos, o comportamento esperado do consumidor é optar pela troca do veículo por um novo em poucos anos. Este comportamento corrobora com a conclusão de que não há viabilidade financeira para se investir nos veículos elétricos nos cenários base avaliados.

Figura 25 – Comparativo de cenários de TCO do veículo modelo A



Fonte: AUTORA,2023.

Figura 26 – Comparativo de cenários de TCO do veículo modelo B



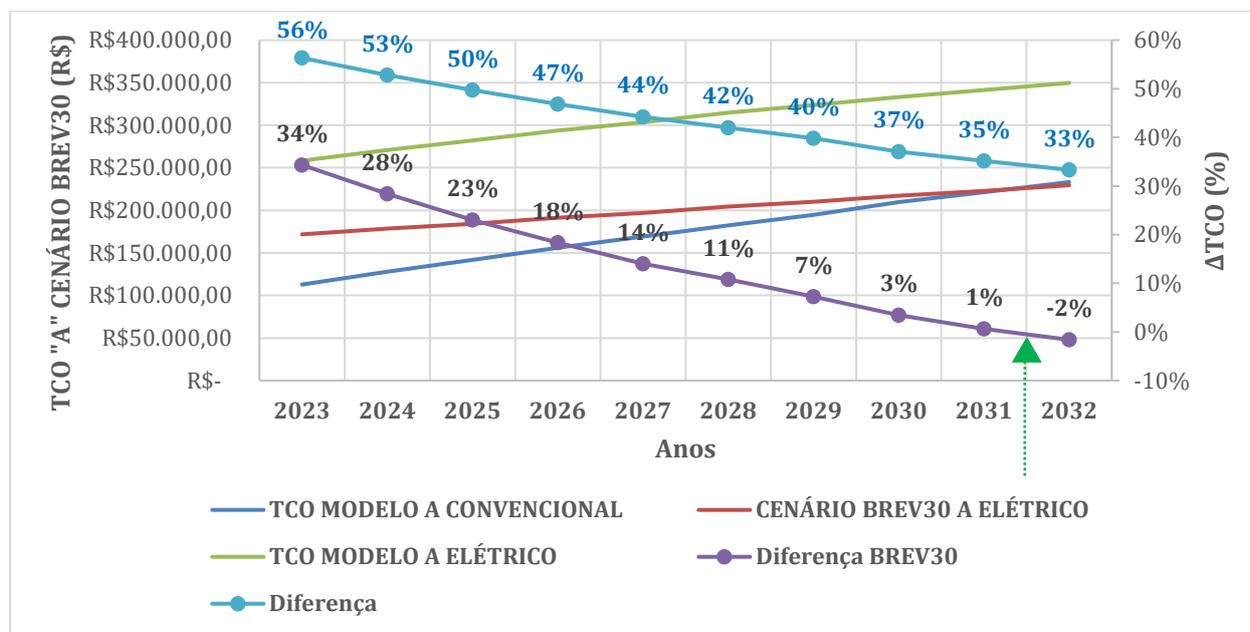
Fonte: AUTORA,2023.

4.2.2. Resultados Obtidos - Cenário BREV30

Esta seção compreende na aplicação das propostas de políticas públicas e regulatórias propostas neste trabalho e a análise da eficácia desse estudo no que diz respeito a contribuir para

a popularização dos veículos elétricos no Brasil. A aplicação das propostas em um cenário ideal para alavancar o ritmo e acelerar o processo da mobilidade elétrica nacional foi denominada nesse estudo de Cenário BREV30, que faz uma abordagem financeira, focada na viabilidade, do ponto de vista do consumidor, de adquirir veículos elétricos, vislumbrando a diminuição de gastos totais por ano de utilização do bem.

Figura 27 – TCO do veículo modelo A no cenário BREV30



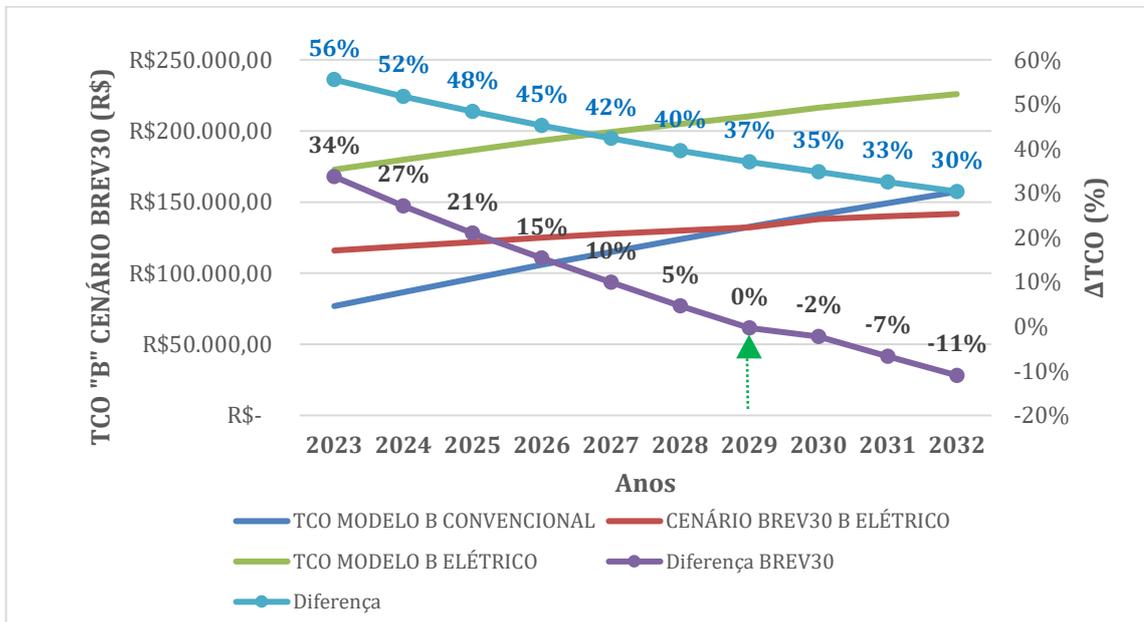
Fonte: AUTORA, 2023.

Em análise aos resultados obtidos com a simulação de implantação do Cenário BREV30, apresentado na Figura 27, é possível identificar um comportamento do custo total de propriedade diferente do cenário base verificado anteriormente, iniciando pelas diferenças de TCO que diminuem inicialmente de 56% para 34%, e em meados de 2031 acontece a equiparação dos custos totais de propriedade entre os veículos convencionais e elétricos do modelo A. Esta análise financeira corrobora com as propostas de políticas públicas e regulatórias apresentadas na seção anterior deste trabalho, e tem como objetivo confirmar a necessidade e eficácia da aplicação dos incentivos governamentais para a disseminação e popularização da mobilidade elétrica no Brasil.

No caso do veículo modelo B, apresentado na Figura 28, foram obtidos resultados mais favoráveis da aplicação dos incentivos no cenário BREV30 em comparação ao modelo A. Esse resultado pode ser explicado uma vez que um consumidor ao comprar um veículo 0km do modelo B elétrico em 2023, obtém o retorno do seu investimento em um período de 6 anos, mais especificamente em 2029, quando o custo total de propriedade do modelo elétrico se equipara ao modelo convencional, conforme demonstrado na Figura 29. Entende-se que o cenário BREV30 resulta em melhores resultados para carros populares, que possuem preços mais acessíveis de

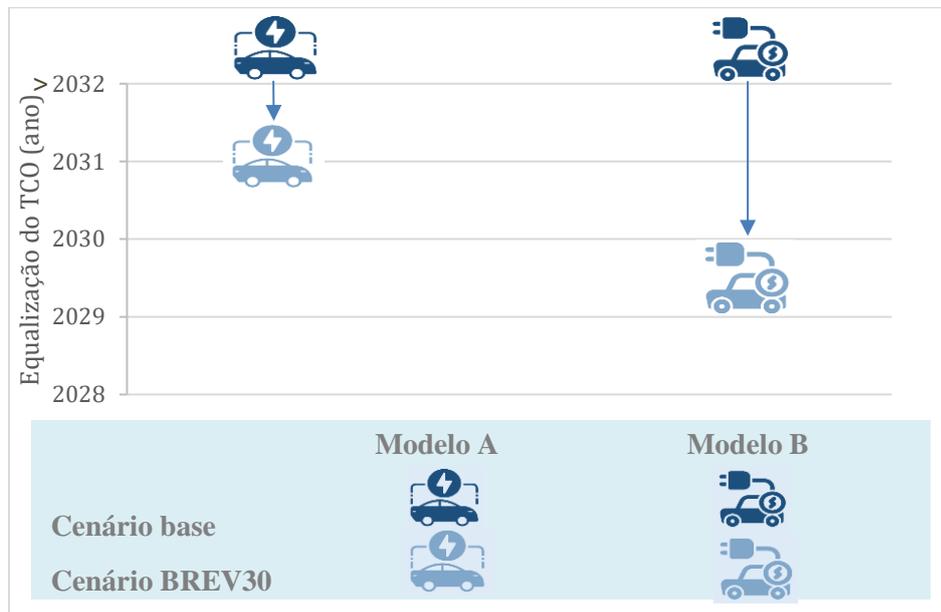
aquisição, manutenção e seguro.

Figura 28 – TCO do veículo modelo B no cenário BREV30



Fonte: AUTORA,2023.

Figura 29 – Equalização de TCO entre cenários avaliados



Fonte: AUTORA,2023.

É compreensível concluir a partir desses gráficos que o período de retorno publicado com cada um desses estudos é muito sensível às suposições implícitas em cada modelo de veículo adotado. Pequenas mudanças na inclinação (custos operacionais e de capital) de qualquer uma das curvas de TCO podem alterar drasticamente o valor relatado do período de retorno do investimento. Com isto, é possível entender que há pouco consenso na literatura acadêmica sobre

o valor do TCO ou período de retorno de investimento dos veículos elétricos em comparação aos veículos convencionais, devido a sensibilidade dos resultados obtidos com qualquer mudança de escopo e parâmetros adotados.

5. CONCLUSÕES

O mercado automobilístico mundial dita uma revolução automotiva em busca de soluções mais ecológicas e socialmente aceitas, nesse sentido os veículos elétricos aparecem como uma solução promissora a estas mudanças. O Brasil, embora apresente uma posição de destaque no mercado automobilístico, por estar entre os dez maiores consumidores de veículos do mundo, no que diz respeito a mobilidade elétrica, apresenta uma defasagem no caminho para a implementação desta tecnologia.

Neste trabalho foi apresentada uma revisão literária sobre conceitos importantes associados a mobilidade elétrica, dentre eles, as redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*) e a importância da implantação desta tecnologia para a gestão e integração dos VEs com as redes elétricas, sendo explorado métodos alternativos implementados mundialmente para apoiar no aumento de demanda de energia elétrica em horários de pico, como exemplo do *Vehicle-to-Grid* (V2G).

Neste trabalho também foram abordadas algumas questões fundamentais, tais como os desafios atrelados a inserção e a disseminação dos veículos elétricos (VEs) na matriz energética brasileira através do estudo do arcabouço regulatório nacional vigente, bem como, das políticas públicas e medidas de incentivo implementadas mundialmente. Como ponto de destaque, tem-se os custos elevados de aquisição dos veículos elétricos, sendo a bateria seu principal custo, além das altas alíquotas de impostos incidentes sobre a tecnologia, tem-se também as dificuldades com a recarga, a familiaridade com a tecnologia, e o impacto da integração dos VEs na estabilidade da rede elétrica.

Em termos de regulamentação no Brasil, destaca-se a Resolução Normativa 819 (atualmente em vigor na Resolução 1.000) da ANEEL, a primeira regulamentação brasileira sobre a recarga de veículos elétricos, que apresenta um caráter incipiente pois não estabelece detalhes importantes para a padronização para as estações de recarga em todo o país, especificamente no que tange aos conectores, bem como, apresenta impossibilidades a reserva e injeção de potência na rede elétrica, através dos veículos elétricos, para apoio à operação do sistema, descongestionando ramos e apoiando o equilíbrio entre procura e oferta.

Foi possível observar no desenvolvimento desta pesquisa, que existem muitas oportunidades de avanços nas discussões no âmbito da regulação e de incentivos políticos, para o desenvolvimento e consolidação da mobilidade elétrica no Brasil. Foi apresentado um modelo regulatório e de políticas públicas adequado para a disseminação da mobilidade elétrica no Brasil, sendo categorizados em três vertentes de atuação: ambiental, infraestrutura e mercado. Em

destaque, tem-se a criação de incentivos e subsídios fiscais, reformas tributárias e de impostos incidentes sobre os VEs, que representam grande impacto no alto custo de aquisição do veículo, de modo a proporcionar um ambiente favorável a eletrificação da frota para os consumidores brasileiros.

Na sequência, também foram apresentados os resultados obtidos com a quantificação dos custos de propriedade de veículos de modelos similares, sendo elétricos e convencionais. No cenário atual, também conhecido como cenário base, os resultados indicam que não há viabilidade financeira para se investir nos veículos elétricos avaliados devido ao período de retorno do investimento serem muito longos, ultrapassando a vida útil do veículo e o período analisado de 10 anos. Com isto, o alto custo de aquisição dos veículos elétricos (VEs) não é compensado por menores custos de funcionamento, no cenário base, o que dificulta a adoção dessa tecnologia pelos consumidores brasileiros na realidade atual.

No cenário com a implementação do modelo de incentivos regulatórios e de políticas públicas, denominado neste trabalho de cenário ideal ou BREV30, os resultados da viabilidade econômica para o consumidor se mostraram mais promissores a popularização dessa tecnologia, apresentando um menor tempo de retorno e equiparação dos custos com relação aos veículos convencionais. Nas análises de cada cenário, foi identificado que o período de retorno e equiparação do investimento é muito sensível a parametrização e caracterização de cada modelo avaliado.

Esta análise financeira corrobora com as propostas de políticas públicas e regulatórias apresentadas neste trabalho, e tem como objetivo confirmar a necessidade e eficácia da aplicação dos incentivos governamentais para a disseminação e popularização da mobilidade elétrica no Brasil.

5.1.Sugestões para trabalhos futuros

As análises realizadas nessa dissertação levantaram outros questionamentos a serem aplicados em trabalhos futuros, que são:

- Realizar a análise de custo-benefício acerca da introdução dos veículos elétricos na frota nacional, tendo em vista o avanço da rota tecnológica dos biocombustíveis, em especial do etanol;
- Esquematizar o potencial de retorno financeiro causado pela implementação da tecnologia V2G para o consumidor e verificar o custo total de propriedade com este cenário;

- Estudar o impacto da implantação das políticas públicas e regulatórias mais rígidas para todos os *stakeholders* envolvidos.

5.2. Artigos e Capítulos publicados associados a dissertação

- Y. E. de Souza Oliveira, D. Q. Oliveira and O. R. Saavedra, "A review on challenges for the dissemination of battery electric vehicles in Brazilian market," *2022 IEEE PES Generation, Transmission and Distribution Conference and Exposition – Latin America (IEEE PES GTD Latin America)*, La Paz, Bolivia, 2022, pp. 1-7, doi: 10.1109/IEEEPESGTDLatinAmeri53482.2022.10038295.
- Y. E. de Souza Oliveira, D. Q. Oliveira, O. R. Saavedra and M.R. Andebili. "The challenges on the pathway to electromobility in developing countries". In: *Planning and Operation of Electric Vehicles in Smart Grid*, Springer, 2023.
- Y. E. de Souza Oliveira, D. Q. Oliveira and O. R. Saavedra, "The Pathway to Electromobility in Brazil: Challenges and Initiatives From the Electrical Sector" *The XIV Latin-American Congress On Electricity Generation And Transmission - CLAGTEE 2022*. Rio de Janeiro, Brazil, November 27th – 30th, 2022.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. PRODIST – Módulo 8. Brasília. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Resolução Normativa N° 819, DE 19 DE JUNHO DE 2018. Brasília. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Resolução Normativa N° 1000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021. Brasília. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. SÉRIE HISTÓRICA DE PREÇOS DE COMBUSTÍVEIS E DE GLP -ANP, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/serie-historica-de-precos-de-combustiveis>. Acesso em 15/05/2023
- AHUJA J. “A circular economy for electric vehicle batteries: driving the change”, *Journal of Property, Planning and Environmental*, ISSN: 2514-9407, 2020.
- ALAHYARI, A.; FOTUHI-FIRUZABAD, M.; RASTEGAR, M. Incorporating customer reliability cost in PEV charge scheduling schemes considering vehicle-to-home capability. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. v. 64, n. 7, p. 2783–2791, 2015.
- AL-ALAWI B., BRADLEY T., Total cost of ownership, payback, and consumer preference modeling of plug-in hybrid electric vehicles, *Applied Energy*, Volume 103, 2013, Pages 488-506, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.009>.
- ANFAVEA, Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, *Brazilian Automotive Industry Yearbook*, 2023. Disponível em: <https://anfavea.com.br>. Acessado em: 17/05/2023.
- ANGELIM, J. H.; AFFONSO, C. de M. Probabilistic assessment of voltage quality on solarpowered electric vehicle charging station. *Electric Power Systems Research*, v. 189, p. 106655, 2020.
- ARIAS, N. B.; HASHEMI, S.; ANDERSEN, P. B.; TRAEHOLT, C.; ROMERO, R. Distribution system services provided by electric vehicles: Recent status, challenges, and future prospects. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. v. 20, n. 12, p. 4277–4296. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. ABNT NBR IEC 6185-1: 2013 - Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos. Brasil. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS – ABVE. Carro Elétrico: o futuro já está entre nós. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS GRANDES CONSUMIDORES DE ENERGIA E CONSUMIDORES-ABRACE, 2023. Disponível em: <https://abrace.org.br>. Acessado em: 17/05/2023
- ASSOLAMI, Y. O.; MORSI, W. G. Impact of Second-Generation Plug-in Battery Electric Vehicles on the Aging of Distribution Transformers Considering TOU Prices. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. v. 6, p. 1606-1614. 2015.
- BARREIRO, T. T. Veículos elétricos: uma análise das políticas públicas voltadas à inserção de veículos elétricos entre os países líderes de venda no segmento. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC. 2022.
- BASMA H., BUYASSE C., ZHOU Y., RODRÍGUEZ F, Total Cost Of Ownership Of Alternative Technologies For Class 8 Trucks, *International Council on Clean Transportation (ICCT)*, 2023. Disponível em: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/04/tco-alt-powertrain-long-haul-trucks-us-apr23.pdf>
- BARASSA E., CRUZ R., MORAES H., Roadmap Nacional para Infraestrutura da Mobilidade Elétrica no Brasil, 2022. Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (FUNDEP).
- BARASSA, E; CRUZ, R. MORAES H. 1º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica, 2020. Plataforma Nacional de

Mobilidade Elétrica. Data da publicação:15/03/2021. Disponível em: <https://www.pnme.org.br>

BEAUME, R.; MIDLER, C. From technology competition to reinventing individual ecomobility: new design strategies for electric vehicles. *International Journal of Automotive Technology and Management*. v. 9, n. 2, p. 174-190. 2019.

BICHELS, A. *Sistemas elétricos de potência : métodos de análise e solução*. ISBN: 978-85-7014-208-5. Curitiba, EDUTFPR, 2018. E-book disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/>.

BREETZA H, SALONB D. Do electric vehicles need subsidies? Ownership costs for conventional, hybrid, and electric vehicles in 14 U.S. cities, *Energy Policy*, Volume 120, 2018, Pages 238-249, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.038>.

BLOOMBERG N. B. Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>. Acessado em: 16/05/2023

CABALLERO-PENÑA, J.; CADENA-ZARATE, C.; PARRADO-DUQUE, A.; OSMA-PINTO, G. Distributed energy resources on distribution networks: A systematic review of modelling, Simulation, metrics and impacts. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. v. 138, p. 107900. 2022.

CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD - CARB. California's advanced clean cars midterm review: summary report for the technical analysis of the light duty vehicle standards. 2017.

CHOI, W.; SONG, H. H. Well-to-wheel greenhouse gas emissions of battery electric vehicles in countries dependent on the import of fuels through maritime transportation: a South Korean case study. *Applied Energy*. v. 230, p. 135-147. 2018.

CHUKWU, U. C.; MAHAJAN, S. M. V2G electric power capacity estimation and ancillary service market evaluation. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*. p. 1–8, 2021.

CRABTREE.G., “The coming electric vehicle transformation Science”, 366 (2019), pp. 422-424, 10.1126/science.aax0704, 2019.

CORRÊA, R. M. Avaliação do impacto da conexão de veículos elétricos em sistemas de potência. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Maranhão. São Luís – MA. 2018.

COSTA, T. F.; SANTOS, I. F. S.; TIAGO FILHO, G. L.; BARROS, R. M.; MIRANDA, R. T. Optimum hydropower Potential study on nine Brazilian drainage basins using a numerical Algorithm. *Environment, Development and Sustainability*. v. 23, n. 2, p. 1729-1758. 2021.

COMPAREMCASA, Corretora de Seguros LTDA, 2023. Disponível em: <https://www.comparemcasa.com.br/>. Acessado em: 16/05/2023

D'AGOSTO, M. A.; GONÇALVES, D. N. S.; GOES, G. V.; BANDEIRA, R. A. M.; COSTA, M. G. Normas e regulamentos para a mobilidade elétrica no enquadramento do Brasil – Análise internacional e propostos de N&R para o contexto brasileiro. Rio de Janeiro – RJ. 2020.

DES, S.; GOSWAMI, A. K.; HARSH, P.; SAHOO, J. P.; CHETRI, R. L.; ROY, R.; SHEKHAWAT, A. S. Charging coordination of plug-in electric vehicle for congestion management in distribution system Integrated with Renewable energy sources. *IEEE Transactions on Industry Applications*. v. 56, n. 5, p. 5452-5462. 2020.

DINIS, L. C. Exploring electric vehicles attributes and user's satisfaction based on driving experience. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento de Serviços). Universidade Católica Portuguesa. Porto – Portugal. 2021.

DORNOFF, J.; MILLER, J.; MOCK, P.; TIETGE, U. The European Commission regulatory proposal for post-2020 CO2 targets for cars and vans: a summary and evaluation. *International Council on Clean Transportation*. 2018.

DUBEY, A.; SANTOSO, S. Electric vehicle charging on residential distribution systems: Impacts and mitigations. *IEEE Access*, v. 3, p. 1871–1893, 2015.

DUPONT, L.; HUBERT, J.; GUIDAT, C.; CAMARGO, M. Understanding user representations, a new development path for supporting Smart City policy: Evaluation of the electric car use in Lorraine Region. *Technological Forecasting and Social Change*. v. 142, p. 333-346. 2019.

- EGNÉR, F.; TROSVIK, L. Electric vehicle adoption in Sweden and the impact of local policy Instruments. *Energy Policy*. v. 121, p. 584-596, 2018.
- EHSANI, M.; SING, K. V.; BANSAL, H. O.; MEHRJARDI, R. T. State of the art and trends in electric and hybrid electric vehicles. *Proceedings of the IEEE*. v. 109, n. 6, p. 967-984. 2021.
- EISENKRAEMER, P. H. Metodologia para análise de impacto de veículos elétricos em redes de distribuição de energia elétrica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2022.
- EKANAYAKE, J. B.; LIYANAGE, K.; WU, J.; YOKOYAMA, A.; JENKINS, N. Smart grid: technology and applications. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012.
- ENERDATA. Global Energy Statistical Yearbook 2019 – CO2 fuel combustion. 2020.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética., “Plano Nacional de Energia 2050”. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2020.
- EVEROZE; EVCONSULT. V2G global roadtrip: around the world in 50 projects. 2018.
- EUROPEAN GREEN CARS INITIATIVE – EGCI. Multi-annual roadmap and long-term strategy. 2018.
- EV NORWAY. Norwegian EV policy. 2017. Disponível em: <https://elbil.no/english/norwegian-ev-policy/>
- FANG, X.; MISRA, S.; XUE, G.; YANG, D. Smart grid – the new and Improved power grid: A survey. *IEEE communications surveys and tutorials*. v. 14, n. 4, p. 994-980. 2012.
- FELIX, E. M. S. Um framework baseado em engenharia dirigida por modelos e weaving de modelos para suportar a atividade de desenvolvimento de software e a integração de aplicações em Smart Grids. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Maranhão. São Luís – MA. 2021.
- FERREIRA, E. F. D. A. Veículos elétricos: integração eficiente em sistemas de distribuição de energia. São Luís: UFMA. 2012.
- FIGENBAUM, E.; ASSUM, T.; KOLBENSTVEDT, M. Electromobility in Norway –experiences and opportunities. *Research in Transportation Economics*. v. 50, p. 29-38, 2015.
- GARMENDIA C., QIAO W., FOSTER V., The Economics of Electric Vehicles for Passenger Transportation .World Bank Group, ISBN 978-1-4648-1948-3, DOI: 10.1596/978-1-4648-1948-3
- GHADERI, A.; NASSIRAEI, A. A. The economics of using electric vehicles for vehicle to Building applications Considering the effect of Battery degradation. 41 st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON. p. 1-6. 2015.
- GRANDJEAN, T. R.; GROENEWALD, J.; MARCO, J. The experimental evaluation of lithium ion batteries after flash cryogenic freezing. *Journal of Energy Storage*. v. 21, p. 202-215. 2019.
- GHARAVI, H.; GHAFURIAN, R. Smart grid: the electric energy system of the future. IEEE, 2011.
- GODINA, R.; RODRIGUES, E. M. G.; PATERAKIS, N. G.; ERDNIC, O.; CATALÃO, J. P. S. Innovative impact assessment of electric vehicles charging loads on distribution transformers using real data. *Energy Conversion and Management Journal*. ed. 120, p. 206-2016. 2016.
- GUO, D.; YI, P.; ZHOU, C.; WANG, J. Optimal electric vehicle scheduling in smart home with V2H/V2G regulations. *IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*. 2015.
- GUO, D.; ZHOU, C. Realistic modeling of vehicle-to-grid in an enterprise parking lot: a stackelberg game approach. *IEEE Texas Power and Energy Conference, TPEC*. p. 1–6, 2018.
- HAMED, A. M. R.; HUANG, J.; WU, C. Vehicle-to-grid systems: ancillary services and communications. 2018.
- HELBIG A.M. BRADSHAW, L. WIETSCHER, A. THORENZ, A. “Supply risks associated with lithium- ion battery materials”. *J. Clean. Prod.*, 172, pp. 274-286, 10.1016/j.jclepro.2017.10.122, 2018.
- HUSAIN, I.; OZPINECI, B.; ISLAM, M. S.; GURPINAR, E.; SU, G. J.; YU, W.; CHOWDHURY, S.; XUE, L.; RAHMAN, D.; SAHU, R. Electric drive technology trends, challenges, and opportunities for future electric vehicles. *Proceedings of the IEEE*. v. 109, n. 6, p. 1039–1059. 2021.

- INMETRO, Tabelas de Consumo/Eficiência Energética para Veículos Automotores Leves, 2020. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2020.pdf Acesso em: 15/05/2023
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Global EV outlook 2017: two million and counting. Paris, França. 2017.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, Data and Statistic, Global EV Data Explorer, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>. Acesso em: 15/05/2023
- JI D., GAN H., Effects of providing total cost of ownership information on below-40 young consumers' intent to purchase an electric vehicle: A case study in China, *Energy Policy*, Volume 165, 2022, 112954, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112954>.
- JOLLER, L.; VARBLANE, U. Learning from na electromobility living lab: experiences from the Estonian ELMO programme. *Cases studies on transport policy*. v. 4, n.2, p. 57-67. 2016.
- JONES B., ELLIOTT R.J.R., NGUYEN-TIEN V.. “The EV revolution: the road ahead for critical raw materials demand.” *Appl. Energy*, 280, p. 115072, [10.1016/j.apenergy.2020.115072](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115072), 2020.
- KELLEY Blue Book Co.®, Brasileiros rodam em média 12,9 mil Km no primeiro ano de uso de um veículo. 08 abril 2019. Disponível em: <https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quanto-brasileiro-roda-carro-ano/?ID=1830>. Acessado em: 16/05/2023
- KHALID, M. R.; ALAM, M. S.; SARWAR, A.; ASGHAR, M. S. J. A comprehensive review on electric vehicles charging Infrastructures and their impacts on power-quality of the utility grid. *eTransportation*. v. 1, p. 100006. 2019.
- KRAUSE, R. M.; CARLEY, S. R.; LANE, B. W.; GRAHAM, J. D. Perception and reality: Public knowledge of plug-in electric vehicles in 21 U.S. *Energy Policy*. v. 63, p. 433-440. 2013.
- KUNGL, G.; GEELS, F. W. “Sequence and alignment of external pressures in industry destabilisation: Understanding the downfall of incumbent utilities in the German energy transition”. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 26, n. January 2017, p. 78– 100, 2018.
- LAIB, F.; BRAUN, A.; RID, W. Modelling noise reductions using electric buses in urban traffic: a case study from Stuttgart, Germany. *Transportation Research Procedia*, v. 37, p. 377-384. 2019.
- LAM, A. Y. S., Leung Y-W., Chu, X. Electric Vehicle Charging Station Placement: Formulation, Complexity, and Solutions. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 5, n. 6, p. 2846-2856, nov, 2014. <http://dx.doi.org/10.1109/TSG.2014.2344684>
- LIU, C.; CHAU, K. T.; WU, D.; GAO, S. Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid Technologies. *Proceedings of the IEEE*. v. 101, n. 11, p. 2409-2427. 2013.
- LIU Z., SONG J., KUBAL J., SUSARLA N., KNEHR K., ISLAM E., NELSON P., AHMED S., Comparing total cost of ownership of battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles, *Energy Policy*, Volume 158, 2021,112564, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112564>.
- MAO S., BASMA H., RAGON P., ZHOU Y., RODRÍGUEZ F, Total Cost Of Ownership For Heavy Trucks In China, International Council on Clean Transportation (ICCT), 2021. Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/ze-hdvs-china-tco-EN-nov21.pdf>
- MELLO, A. M.; MARX, R.; SOUZA, A. Exploring scenarios for the possibility of developing desing and production competencies of electrical vehicles in Brazil. *International Journal of Automotive Technology and Management*. v. 13, n. 3, p. 289-314. 2017.
- MI, C.; MASRUR, M. A.; GAO, D. W. Hybrid Eletric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives. 1ª ed. Chichester: Wiley. 2011.
- National Institute of Standards and Technology - NIST. Smart grid: a beginner's guide 2020.
- MONTEIRO, V.; PINTO, J. G.; AFONSO, J. L. Operation modes for the electric vehicle in smart grids and smart homes: present and proposed modes. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. v. 65, n. 3, p. 1007–1020, 2016.
- MORADIJOZ, M.; MOAZZEN, F.; ALLAHMORADI, S.; MOGHADDAM, M. P.; HAGHIFAM, M. R. A two stage

model for optimum allocation of electric vehicle parking lots in smart grids. Smart Grid Conference, SGC. p. 1–5, 2018.

MOTTA D., ROCHA R.; CALOBA G., Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais. Atlas, 2002.

NETO, N. K.; PIOTROWSKI, L. Methodology for analysis of the impact of residential charging of electric vehicles. IEEE Latin America Transactions, v. 17, n. 06, p. 953–961, 2019.

NEOCHARGE, Conheça os tipos de carros elétricos, São Paulo, 2021. Disponível em: NeoCharge.com.br

NYKVIST, B.; WHITMARSH, L. A multi-level analysis of sustainable mobility transitions: Niche development in the UK and Sweden. Technological Forecasting & Social Change. v. 75, p. 1373-1387, 2018.

NOUR, M.; RAMADAN, H.; ALI, A.; FARKAS, C. Impacts of plug-in electric vehicles charging on low voltage distribution network. International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering, ITCE. p. 357–362, 2018.

NOLLA G. R. Análise do custo total de propriedade da adoção de veículos elétricos na frota de coletivo urbano de Florianópolis, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, 2022.

OLIVEIRA. Y.E, OLIVEIRA D. Q., SAAVEDRA O. R., "A review on challenges for the dissemination of battery electric vehicles in Brazilian market," 2022 IEEE PES Generation, Transmission and Distribution Conference and Exposition – Latin America, La Paz, Bolivia, 2022, pp. 1-7, doi: 10.1109/IEEEPESGTDLatinAmeri53482.2022.10038295.

OLIVEIRA, D. Q, ZAMBRONI A., DELBONI L. “Optimal plug-in hybrid electric vehicles recharge in distribution power systems”. Electric Power Systems Research. 98. 77–85. 10.1016/j.epsr.2012.12.012, 2012.

OLIVEIRA. Y.E, OLIVEIRA D. Q., SAAVEDRA O. R, ANDEBILI M.R. "The challenges on the pathway to electromobility in developing countries" Planning and Operation of Electric Vehicles in Smart Grid, 2023.

OLIVEIRA. Y.E, OLIVEIRA D. Q., SAAVEDRA O. R. O Caminho para a Eletromobilidade no Brasil: Principais Impactos e Iniciativas do Setor Elétrico. THE XIV LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE 2022. Rio de Janeiro, Brazil, November 27th – 30th, 2022

PALM, J; BACKMAN, F. Public procurement of electric vehicles as a way to support a market: Examples from Sweden. International Journal of Electric and Hybrid Vehicles. v. 9, n. 3, p. 253-268. 2017.

PEUGEOT, 2023. Disponível em: <https://carros.peugeot.com.br/links/catalogos.html>. Acessado em: 16/05/2023

PETROBRAS. Conheça o caminho do Petróleo para entender o preço da gasolina no Brasil, 2023. Disponível em: <https://precos.petrobras.com.br/web/precos-dos-combustiveis/w/gasolina/ma>. Acessado em: 16/05/2023

PINTO, R. D.; ARIOLI, V. T.; HAZ, G. R.; BORGES, R. T.; TEIXEIRA, W. W. Analysis of the impact on power quality during the recharge of electric vehicles and vehicle-to-grid functionality. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT-Europe. p. 1–6, 2017.

PROMOB-e. Sessão temática: regulamentações e normas para a implementação da mobilidade elétrica no Brasil. Rio de Janeiro - RJ. 2018.

RECEITA FEDERAL, Tabela De Incidência Do Imposto Sobre Produtos Industrializados (TIPI), Decreto nº 11.158, de 29 de julho de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/documentos-e-arquivos/tipi.pdf> . Acessado em: 17/05/2023

RECEITA FEDERAL, INSTRUÇÃO NORMATIVA SRF Nº 162, DE 31 DE DEZEMBRO DE 1998. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/>. Acessado em: 17/05/2023

REDELBACH, M.; SPARKA, M.; SCHMID, S.; FRIEDRICH, H. E. Modelling customer choice and market development for future automotive powertrain technologies. World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27). Barcelona, Espanha. 2013.

REINHARDT R., CHRISTODOULOU I., DOMINGO S, GARCÍA B. "Towards Sustainable Business Models for Electric Vehicle Battery Second Use: A Critical Review." *Journal of Environmental Management* 245 (2019): 432-46. Web.

RENAULT, 2023. Disponível em: <https://www.renault.com.br/> Acessado em: 16/05/2023

ROLAND H. Quanto tempo dura a bateria de um carro elétrico na vida real, 2022. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/590703/duracao-bateria-carro-eletrico-renault/> . Acesso em 13/05/2023

SABILLÓN A. C. F.; FRANCO, J. F.; RIDER M. J.; ROMERO, R. A MILP model for optimal charging coordination of storage devices and electric vehicles considering V2G technology. *International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC*. p. 60–65, 2015.

SANTOS, F. G. A rede de mobilidade elétrica em Portugal – as incidências do Direito Público e Europeu na criação de um novo paradigma de mobilidade Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Católica Portuguesa. 2017.

SAMPAIO, DANILO S. Um Estudo Comparativo Sobre o Comportamento do Consumidor de Automóveis Novos. VII SEMEAD.2004 Seminário em Administração FEA-USP.São Paulo,2004.

SAYED, M. A.; ATALLAH, R.; ASSI, C.; DEBBABI, M. Electric vehicle attack impact on power grid operation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. v. 137, p. 107784, 2022.

SCLAR, R.; GORGUINPOUR C.; CASTELLANOS S., LI X., 2019. Barriers to Adopting Electric Buses. Washington, DC: World Resource Institute. <https://www.wri.org/research/barriers-adopting-electric-buses>.

SEFAZ-MA, Secretaria da Fazenda do Maranhão. Tabela de Valores IPVA 2023. Disponível em: <https://sistemas1.sefaz.ma.gov.br/portalsefaz/jsp/pagina/pagina.jsf?codigo=32> . Acessado em: 16/05/2023

SENATRAN, Secretaria Nacional de Trânsito, Estatísticas - Frota de Veículos 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran>. Acesso em: 03/06/2023

SHAFIEE, S.; FOTUHI-FIRUZABAD, M.; RASTEGAR, M. Investigating the impacts of plug-in hybrid electric vehicles on power distribution systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*. v. 4, n. 3, p. 1351–1360, 2013.

SHAFIEI, E.; DAVIDSDOTTIR, B.; FAZELI, R.; LEAVER, J.; STEFANSSON, H.; ASGEIRSSON, E. I. Macroeconomic effects of fiscal incentives to promote electric vehicles in Iceland: Implications for government and consumer costs. *Energy Policy*. v. 114, p. 431-443. 2018.

SHARMA, S.; JAIN, P.; BHAKAR, R.; GUPTA, P. P. Time of use price based vehicle to grid scheduling of electric vehicle aggregator for improved market operations. *International Conference on Innovative Smart Grid Technologies, ISGT Asia*. p. 1114–1119, 2018.

SHIGENOBU, R.; ADEWUYI, O. B.; SENJYU, T. A multi-objective optimal sizing and operation for off-grid smart house. *International Conference, Proceedings, TENCON*. p. 2198–2203, 2017.

SILVA, W. M. Integração de dispositivos elétricos inteligentes de abordagem legada em sistemas Smart Grid baseados na IoT. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN. 2021.

SIMONET, G. Norway Transport: the progressive electrification of land and maritime transport. *Climate chance*. 2019.

SLOWIK, P.; ARAÚJO, C.; DALLMANN, T.; FAÇANHA, C. Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas. Brasília – DF. 2018.

SOUSA, C.; COSTA, E. Types of Policies for the Joint Diffusion of Electric Vehicles with Renewable Energies and Their Use Worldwide. Lisboa, Portugal. 2022.

TOMIC, J.; KEMPTON, W. Using fleets of electric-drive vehicles for grid support. *Journal of Power Sources*. v. 168, n. 2, p. 459-468. 2007.

TUTTLE, D. P.; FARES, R. L.; BALDICK, R.; WEBBER, M. E. Plug-in vehicle to home (V2H) duration and power

output capability. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo: Components, Systems, and Power Electronics 2019. p. 1–7, 2019.

VALSERA-NARANJO, E.; SUMPER, A.; LLORET-GALLEGO, P.; VILLAFÁFILA-ROBLES, R.; SUDRIA-ANDREU, A. Electrical vehicles: state of art and issues for their connection to the network. 10 th. International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation. Lodz, Polônia. 2019.

VERBONG, G. P. J.; GEELS, F. W. “Exploring sustainability transitions in the electricity sector with socio-technical pathways”. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 77, n. 8, p. 1214–1221, 2010.

YU, R.; ZHONG, W.; XIE, S.; YUEN, C.; GJESSING, S.; ZHANG, Y. Balancing power demand through EV mobility in vehicle-to-grid mobile energy networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. v. 12, n. 1, p. 79–90, 2019.

WADY, A. F. (2021). Os sinais regulatórios necessários para o desenvolvimento da mobilidade elétrica na cidade: Uma abordagem com foco na infraestrutura de recarga.

WIKSTRÖM, M.; HANSSON, L.; ALVFORS, P. Socio-technical experiences from electric vehicle utilization in commercial fleets. *Applied Energy*. v. 123, n. 15, p. 82-93. 2014.

WOLFF, S.; MADLENER, R. Driven by change: Commercial drivers' acceptance and efficiency perceptions of light-duty electric vehicle usage in Germany. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. v. 105, p. 262-282. 2019

WU G., INDERBITZIN A., BENING C., Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments, *Energy Policy*, Volume 80, 2015, Pages 196-214, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.004>.

ZHAO, L.; ARAVINTHAN, V. Strategies of residential peak shaving with integration of demand response and V2H. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. p. 1–5, 2018.

ZHOU, Y.; WANG, M.; HAO, H.; JOHNSON, L.; WANG, H. Plug-in electric vehicle market penetration and incentives: a global review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. v. 20, n. 5, p. 777-795. 2015.

ZOUAI, M.; KAZAR, O.; HABA, B.; SAOULI, H. Smart house simulation based multi-agent system and internet of things. *Proceedings of the 2017 International Conference on Mathematics and Information Technology*. p. 201–203, 2018.

6. APÊNDICE

PREMISSAS - VEÍCULOS CONVENCIONAIS A COMBUSTÃO

CUSTOS MANUTENÇÃO	MODELO A	MODELO B
Rendimento [km/L]	11,1	15,3
Preço Combustível [R\$/L]	R\$ 5,51	R\$ 5,51
Reajuste combustível por ano [%]	7,50%	7,50%
Distância percorrida [km/ano]	13000	13000
Manutenção e serviços [R\$/km]	0,13	0,07
Seguro [R\$/ano]	R\$ 5.082,36	R\$ 2.873,16
IPVA [R\$/ano]	R\$ 2.098,70	R\$ 1.383,23
CUSTO INFRAESTRUTURA DE RECARGA	MODELO A	MODELO B
Infraestrutura de recarga [R\$]	R\$ -	R\$ -
CUSTOS DE AQUISIÇÃO	MODELO A	MODELO B
Valor do bem	R\$ 94.990,00	R\$ 74.990,00
Juros e Taxas	R\$ 16.358,98	R\$ 2.417,81
Custo efetivo de compra do veículo	R\$ 111.348,98	R\$ 77.407,81
Juros ao ano [%]	12,55%	3,82%
Parcelas mensais [R\$]	R\$ 2.037,58	R\$ 2.137,52
Prazo de financiamento [meses]	36	12
Depreciação (meses)	60	60
Valor Residual	20%	20%
Impostos no valor do bem (IPI, ICMS, PIS/COFINS)	36,39%	32,63%
CUSTOS SOCIAL DO CARBONO	MODELO A	MODELO B
Tonelada emitida CO ² / ano	R\$ 287,65	R\$ 215,74
Aumento do preço do carbono/ano	7,00%	7,00%

PREMISSAS - VEÍCULOS ELÉTRICOS

Premissas - Veículos leves a bateria		
CUSTOS MANUTENÇÃO	MODELO A	MODELO B
Autonomia [km]	220	185
Consumo [kwh/km]	0,22	0,12
Tarifa de Energia [R\$/kwh]	R\$ 0,65	R\$ 0,65
Reajuste da tarifa [%]	9%	9%
Distância percorrida [km/ano]	13000	13000
Manutenção e serviços [R\$/km]	0,06	0,04
Seguro [R\$/ano]	R\$ 10.527,12	R\$ 6.170,40
IPVA [R\$/ano]	R\$ 7.322,43	R\$ 3.328,43
CUSTO INFRAESTRUTURA DE RECARGA	MODELO A	MODELO B
Infraestrutura de recarga [R\$]	R\$ 4.337,11	R\$ 4.337,11
CUSTOS DE AQUISIÇÃO	MODELO A	MODELO B
Valor do bem	R\$ 225.990,00	R\$ 149.990,00
Juros e Taxas	R\$ 39.828,64	R\$ 27.178,19
Custo efetivo de compra do veículo	R\$ 265.818,64	R\$ 177.168,19
Valor Residual	R\$ 33.898,50	R\$ 29.998,00
Depreciação (meses)	60	60
Impostos no valor do bem (IPI, ICMS, PIS/COFINS)	29,62%	28,87%
Imposto de importação	35%	35%
CUSTOS SOCIAL DO CARBONO	MODELO A	MODELO B
Tonelada emitida/CO2	R\$ -	R\$ -

Tabela TIPI 2023, SEÇÃO XVII, Capítulo 87

CÓDIGO DA TIPI	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (EE) (MJ/km)	MASSA EM ORDEM DE MARCHA (MOM) (kg)	ALÍQUOTA (%)
8703.40.00 e 8703.60.00	EE menor ou igual a 1,10	MOM menor ou igual a 1400	6,77
		MOM maior que 1400 e menor ou igual a 1700	7,53
		MOM maior que 1700	8,28
	EE maior que 1,10 e menor ou igual a 1,68	MOM menor ou igual a 1400	9,03
		MOM maior que 1400 e menor ou igual a 1700	9,78
		MOM maior que 1700	11,29
	EE maior que 1,68	MOM menor ou igual a 1400	12,79
		MOM maior que 1400 e menor ou igual a 1700	14,3
		MOM maior que 1700	15,05
8703.80.00	EE menor ou igual a 0,66	MOM menor ou igual a 1400	5,27
		MOM maior que 1400 e menor ou igual a 1700	6,02
		MOM maior que 1700	6,77
	EE maior que 0,66 e menor ou igual a 1,35	MOM menor ou igual a 1400	7,53
		MOM maior que 1400 e menor ou igual a 1700	9,03
		MOM maior que 1700	10,54
	EE maior que 1,35	MOM menor ou igual a 1400	10,54
		MOM maior que 1400 e menor ou igual a 1700	12,04
		MOM maior que 1700	13,55

Tabela TIPI 2023, SEÇÃO XVII, Capítulo 87

NCM	DESCRIÇÃO	ALÍQUOTA (%)
	Ex 01 - Com volume interno de habitáculo, destinado a passageiros e motorista, superior a 6 m ³ , mas inferior a 9 m ³	6,5
	Ex 02 - Com volume interno de habitáculo, destinado a passageiros e motorista, igual ou superior a 9 m ³	0
87.03	Automóveis de passageiros e outros veículos automóveis principalmente concebidos para transporte de pessoas (exceto os da posição 87.02), incluindo os veículos de uso misto (station wagons) e os automóveis de corrida.	
8703.10.00	- Veículos especialmente concebidos para se deslocar sobre a neve; veículos especiais para transporte de pessoas nos campos de golfe e veículos semelhantes	33,86
8703.2	- Outros veículos, unicamente com motor de pistão de ignição por centelha (faisca):	
8703.21.00	-- De cilindrada não superior a 1.000 cm ³	5,27
8703.22	-- De cilindrada superior a 1.000 cm ³ , mas não superior a 1.500 cm ³	
8703.22.10	Com capacidade de transporte de pessoas sentadas inferior ou igual a seis, incluindo o motorista	9,78
8703.22.90	Outros	9,78
8703.23	-- De cilindrada superior a 1.500 cm ³ , mas não superior a 3.000 cm ³	
8703.23.10	Com capacidade de transporte de pessoas sentadas inferior ou igual a seis, incluindo o motorista	18,81
	Ex 01 - De cilindrada superior a 1.500 cm ³ , mas não superior a 2.000 cm ³	9,78
8703.23.90	Outros	18,81
	Ex 01 - De cilindrada superior a 1.500 cm ³ , mas não superior a 2.000 cm ³	9,78
8703.24	-- De cilindrada superior a 3.000 cm ³	
8703.24.10	Com capacidade de transporte de pessoas sentadas inferior ou igual a seis, incluindo o motorista	18,81
8703.24.90	Outros	18,81
8703.3	- Outros veículos, unicamente com motor de pistão de ignição por compressão (diesel ou semidiesel):	
8703.31	-- De cilindrada não superior a 1.500 cm ³	
8703.31.10	Com capacidade de transporte de pessoas sentadas inferior ou igual a seis, incluindo o motorista	18,81
8703.31.90	Outros	18,81
8703.32	-- De cilindrada superior a 1.500 cm ³ , mas não superior a 2.500 cm ³	
8703.32.10	Com capacidade de transporte de pessoas sentadas inferior ou igual a seis, incluindo o motorista	18,81
8703.32.90	Outros	18,81
8703.33	-- De cilindrada superior a 2.500 cm ³	
8703.33.10	Com capacidade de transporte de pessoas sentadas inferior ou igual a seis, incluindo o motorista	18,81
8703.33.90	Outros	18,81
8703.40.00	- Outros veículos, equipados para propulsão, simultaneamente, com motor de pistão de ignição por centelha (faisca) e motor elétrico, exceto os suscetíveis de serem carregados por conexão a uma fonte externa de energia elétrica	18,81
8703.50.00	- Outros veículos, equipados para propulsão, simultaneamente, com motor de pistão de ignição por compressão (diesel ou semidiesel) e motor elétrico, exceto os suscetíveis de serem carregados por conexão a uma fonte externa de energia elétrica	18,81
8703.60.00	- Outros veículos, equipados para propulsão, simultaneamente, com motor de pistão de ignição por centelha (faisca) e motor elétrico, suscetíveis de serem carregados por conexão a uma fonte externa de energia elétrica	18,81
8703.70.00	- Outros veículos, equipados para propulsão, simultaneamente, com motor de pistão de ignição por compressão (diesel ou semidiesel) e motor elétrico, suscetíveis de serem carregados por conexão a uma fonte externa de energia elétrica	18,81
8703.80.00	- Outros veículos, equipados unicamente com motor elétrico para propulsão	18,81
8703.90.00	- Outros	18,81