



FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

TESE DE DOUTORADO

ELETROMOBILIDADE NO BRASIL: *FRAMEWORK* PARA SUPERAR
DESAFIOS E EXPLORAR OPORTUNIDADES

SÉRGIO ROBERTO KNORR VELHO

ORIENTADOR: SANDERSON CÉSAR MACÊDO BARBALHO, Dr. Eng.

BRASÍLIA-DF, 20 DE DEZEMBRO DE 2024.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS
MECATRÔNICOS

ELETROMOBILIDADE NO BRASIL: *FRAMEWORK* PARA SUPERAR DESAFIOS E
EXPLORAR OPORTUNIDADES

SÉRGIO ROBERTO KNORR VELHO

TRABALHO DE TESE SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SISTEMAS MECATRÔNICOS DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Aprovada por:

Prof. SANDERSON CÉSAR MACÊDO BARBALHO, Dr. Eng. (UnB)
(Orientador)

Prof. EVANDRO LEONARDO SILVA TEIXEIRA (UnB)
(Examinador Interno)

Prof. WANDERLEI MARINHO SILVA (Instituto Mauá de Tecnologia)
(Examinador Externo)

Prof.^a FLÁVIA LUCIANE CONSONI DE MELLO (Universidade de Campinas)
(Examinadora Externa)

Prof. MÁRIO MARIO ORESTES AGUIRRE GONZÁLEZ (Universidade Federal do Rio
Grande do Norte)
(Examinador Externo)

Ficha Catalográfica
Universidade de Brasília

VELHO, Sérgio R. K., 2024 -

Eletromobilidade no Brasil: Framework para superar desafios explorar oportunidades – Brasília, DF: 2024. 289p.

Orientador: Sanderson César Macêdo Barbalho.

Tese (doutorado) – Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia

1. Veículos elétricos. 2. Eletromobilidade. 3. Framework. 4. Mobilidade elétrica. 5. Metodologia Q.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Electromobility in Brazil: Framework to overcome challenges explore opportunities.

Palavras-chave em inglês: Electric Vehicles; Electromobility; Frameworks; Electric Mobility; Q Methodology.

Titulação: Doutor

Banca examinadora:

Sanderson César Macêdo Barbalho [Orientador]

Evandro Leonardo Silva Teixeira

Flávia Luciane Consoni de Mello

Mário Mario Orestes Aguirre González

Wanderlei Marinho Silva

Data de defesa: 20-12-2024

Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos
Faculdade de Tecnologia

Identificação e informações acadêmicas do aluno

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-7971-5935>

- Currículo Lattes do autor: <https://lattes.cnpq.br/1903156217708675>

- Matrícula UnB: 17/0196682

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VELHO, SÉRGIO ROBERTO KNORR. (2024). Eletromobilidade no Brasil: *Framework* para superar desafios e explorar oportunidades. Tese de Doutorado em Sistemas Mecatrônicos. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 294 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Assinatura: _____ Data ____/____/____

Dedico esse trabalho a
Tânia (In Memoriam) e Jorge (pais),
Isabella e Luísa (filhas).

AGRADECIMENTOS

Este trabalho iniciou-se quando o então Prof. Cláudio Albuquerque Frate me foi apresentado pelo meu orientador, Prof. Sanderson César de Macêdo Barbalho, no final de 2019. O Prof. Frate possui alguns artigos utilizando a metodologia Q e, havia neste momento, uma curiosidade de como se dava a questão da Eletromobilidade no Brasil e quais seriam seus desafios e oportunidades. Eu tinha uma experiência anterior com o setor automobilístico em função do trabalho desenvolvido no Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), com o colega Francisco Silveira dos Santos, onde atuei na análise dos incentivos fiscais do INOVAR AUTO e contribuições ao Programa Rota 2030.

Assim surgiu este trabalho com a definição de uma questão central, bem como de uma metodologia a ser seguida que utilizava um método misto, qualitativo e quantitativo. Com a ajuda de dois alunos de graduação do curso de Engenharia de Produção da UnB, o Artur Santana Guedes Vanderlinde e o Antônio Henrique Aguiar de Almeida iniciamos a fase inicial da pesquisa entrevistando especialistas na área da eletromobilidade com a pergunta: **Quais são os desafios e oportunidades para a eletromobilidade no Brasil?**

As entrevistas nos renderam um material muito rico de dados por meio das opiniões destes especialistas que renderam um total de 37 horas de gravação e 856 opiniões coletadas, a maior parte desgravada pelos alunos que compilaram esses dados e a quem sou muito grato por essa ajuda valiosa.

Partimos então para a segunda parte da pesquisa, identificada como quantitativa pela metodologia Q, utilizando o *Q Method Software*, e, onde 38 entrevistados *online*, dos 61 iniciais, conseguiram ordenar por importância os 28 statements encontrados pela codificação focalizada da GT. Aqui estatisticamente conseguimos identificar 7 fatores por meio da análise fatorial com rotação *Varimax*, utilizando o software KADE. Eu consegui o contato do Prof Steven R. Brown (*Kent State University*) a quem agradeço a paciência de fornecer informações valiosas sobre a metodologia Q para este trabalho.

Agradeço as ideias trocadas com: Prof. Wanderlei Marinho, Dr. Edgar Barassa, Dr. Raul Beck, Prof.^a Luciane Canha, Dr^a Maria de Fatima Rosolem, Prof. Neantro Saavedra-Rivano, Dr Alberto Carlos Lourenço Pereira, Dr^a Maíra Murrieta Costa, Dr^a Débora Maria da Silva Freitas, Dr. Savio Tulio Oselieri Raedler, Dr. Jean Robert Batana Pires Ferreira, Eduardo

Soriano Lousada, Marcus Regis, Bruno Portella, Janayna Bhering Cardoso e todos os membros da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME) no qual tenho contribuído.

A orientação e a experiência de meu orientador Prof. Sanderson Barbalho e, de minha excelente banca de doutorado: Prof. Evandro Teixeira, Prof^o Wanderlei Marinho, Prof.^a Flávia Consoni e Prof. Mário Mario González, foram muito importantes para os resultados deste trabalho.

Gostaria de deixar meus agradecimentos ao Prof. Eugênio Fortaleza e Prof. Daniel Muñoz, que coordenaram o Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos (PPMEC) durante este meu trabalho e onde tivemos um relacionamento excelente.

Por fim, deixo meus agradecimentos a todos os colegas do Grupo de Pesquisa e Inovação, Projetos e Processos (GPIPP) coordenado pelo meu orientador, ao corpo discente e docente do PPMEC e da Universidade de Brasília, sua equipe de apoio, aos meus colegas do MCTI e do MDIC e, a todos os entrevistados, que, pacientemente, contribuíram com suas opiniões para este trabalho.

Sabemos que uma Estratégia Nacional para a Eletromobilidade ainda necessita ser mais negociada, discutida, detalhada e descrita, mas aqui acredito que se joga uma semente para um trabalho que será importante para o país e para o mundo.

Esta é minha contribuição.

EPÍGRAFE

*“O saber a gente aprende com os mestres e os livros.
A sabedoria, se aprende com a vida e com os humildes”.*
Cora Coralina

VELHO, SRK. Eletromobilidade no Brasil: *Framework* para superar desafios e explorar oportunidades [tese]. Brasília: Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília; 20243.

RESUMO

Introdução: A mobilidade elétrica, ou eletromobilidade (EM), refere-se à adoção de veículos elétricos (VEs) e seu impacto no transporte, abordando desafios tecnológicos, de infraestrutura, regulatórios e de modelos de negócios. Essa transição é crucial para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar impactos ambientais, especialmente em áreas urbanas, motivada pela necessidade de combater mudanças climáticas e promover uma transição energética. No entanto, a adoção dos VEs enfrenta várias barreiras, pois eles ainda representam uma fração pequena das vendas totais de veículos. A redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor de transportes é uma preocupação global, incluindo os países do BRICS, que assinaram o Acordo de Paris em 2015. Os países do BRICS, responsáveis por 21% do PIB mundial, têm mostrado avanços significativos em investimentos em energias renováveis, sendo cruciais no cenário global de emissões. Portanto, é relevante analisar as estratégias desses países, que compartilham características com o Brasil, para entender melhor as oportunidades e desafios locais da eletromobilidade.

Objetivo: Os objetivos desta tese são direcionados ao desenvolvimento e promoção de um framework para superar os desafios e explorar as oportunidades da EM no Brasil. Este estudo foi realizado com a colaboração de especialistas no tema. O *framework* proposto busca integrar perspectivas de inovação e difusão tecnológica, dinâmica de mercado e estruturas políticas e regulatórias, fornecendo uma base sólida para orientar estratégias e políticas voltadas à EM no país e em países emergentes. A abordagem multidisciplinar visa oferecer uma visão abrangente e prática, capaz de apoiar o avanço sustentável da EM no Brasil.

Método: A pesquisa adota uma abordagem de métodos mistos, combinando a Metodologia Q e *Grounded Theory*. Foram realizadas 61 entrevistas com especialistas brasileiros, utilizando amostragem bola de neve, resultando em 856 opiniões codificadas em 28 categorias com a ferramenta Atlas Ti Cloud. A metodologia Q classificou as opiniões como 'concordo em grande parte' ou 'discordo em grande parte' com 38 respondentes anônimos. A análise fatorial com rotação Varimax, realizada com a ferramenta KADE, determinou sete fatores com uma variância cumulativa de 52%. As categorias da *Grounded Theory* foram validadas por meio de revisão de literatura e pesquisa complementar com 34 respondentes. As ações para o desenvolvimento de uma Estratégia Nacional de Eletromobilidade foram refinadas por entrevistas com 14 especialistas.

Resultados: A análise identificou sete fatores que caracterizam os desafios e oportunidades da eletromobilidade no Brasil: (1) políticas governamentais, (2) requalificação da força de trabalho, (3) desenvolvimento tecnológico, (4) custo, (5) mobilidade urbana sistêmica, (6) infraestrutura e (7) meio ambiente. Os resultados indicam que a regulamentação e as normas para a eletromobilidade no Brasil ainda são insuficientes. O fator de maior concordância foi a necessidade de políticas governamentais claras e comprometidas com a eletrificação, enquanto a maior discordância foi em relação à hibridização como estágio inicial da EM.

Conclusão: O estudo oferece uma análise abrangente das oportunidades e desafios da EM no Brasil, um setor fundamental para a descarbonização global. Em 2019, as emissões de

transporte aumentaram apenas 0,5%, um avanço significativo frente à média de 1,9% ao ano desde 2000, impulsionado pela eletrificação, eficiência energética e biocombustíveis. No entanto, o transporte ainda responde por 24% das emissões diretas de CO₂ provenientes da combustão de combustíveis fósseis, com veículos rodoviários (caminhões e ônibus) representando três quartos desse total. Esse cenário evidencia a urgência de uma transição sustentável e tecnológica em países emergentes.

A análise das opiniões de 61 especialistas brasileiros utilizando a metodologia Q destaca que a transição para a EM no Brasil enfrenta desafios específicos: alto custo dos veículos elétricos, dependência da indústria automobilística em tecnologias convencionais, e infraestrutura elétrica limitada. Contudo, o país também possui vantagens competitivas, como uma indústria de autopeças robusta, que podem ser alavancadas com investimentos direcionados em tecnologias de propulsão híbridas e elétricas adaptadas ao contexto local.

As recomendações destacam a importância de políticas públicas integradas, incluindo incentivos fiscais, fortalecimento da infraestrutura de carregamento e educação ambiental para moldar uma nova mentalidade em relação à mobilidade elétrica. Além disso, as estratégias de mobilidade urbana, como a ampliação da micromobilidade e a adoção de ônibus elétricos, podem ser fundamentais para cidades mais sustentáveis. A transição brasileira também oferece lições valiosas para outros países emergentes com indústrias automotivas significativas, como Índia, México e Argentina.

Os dados apontam que o sucesso da EM dependerá de um esforço coordenado entre governo, setor privado e sociedade civil para enfrentar os obstáculos financeiros, técnicos e culturais. Apesar das limitações da pesquisa, que não abrangeu todos os atores relevantes, os resultados sugerem que o alinhamento das políticas industriais com as metas de sustentabilidade global será crucial para transformar a mobilidade no Brasil e em outros mercados emergentes. Pesquisas futuras devem ampliar a amostra, incorporando *startups*, Organizações Não Governamentais (ONGs) e fabricantes de autopeças, além de explorar novas soluções para micromobilidade e integração com energias renováveis, visando uma transição mais equitativa e sustentável.

Palavras-chave: veículos elétricos, eletromobilidade, mobilidade elétrica, metodologia Q, *Grounded Theory*.

VELHO, SRK. Electromobility in Brazil: Framework to overcome challenges and explore opportunities [thesis]. Brasília: Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, University of Brasília; 20243.

ABSTRACT

Introduction: Electromobility (EM) refers to the adoption of electric vehicles (EVs) and its impact on transportation, focusing on technological, infrastructural, regulatory, and business model challenges. This transition is essential for reducing dependence on fossil fuels and mitigating environmental impacts, particularly in urban areas, driven by the imperative to combat climate change and advance an energy transition. Despite the global momentum, the adoption of EVs continues to face multiple barriers, as they still account for a small share of total vehicle sales. Reducing greenhouse gas emissions in the transportation sector remains a critical global issue, including for the BRICS countries, which endorsed the Paris Agreement in 2015. These countries, representing 21% of the world's GDP, have made notable progress in renewable energy investments, which are vital in the context of global emissions. Consequently, examining the strategies of these countries, which have similarities with Brazil, is important for better understanding the local opportunities and challenges of electromobility.

Objective: The objectives of this thesis are aimed at developing and promoting a framework to overcome the challenges and explore the opportunities of EM in Brazil. This study was carried out in collaboration with experts in the field. The proposed framework seeks to integrate perspectives of innovation and technological diffusion, market dynamics, and political and regulatory frameworks, providing a solid basis to guide strategies and policies aimed at EM in the country and in emerging countries. The multidisciplinary approach aims to offer a comprehensive and practical vision capable of supporting the sustainable advancement of EM in Brazil.

Method: The research employs a mixed-methods approach, combining Q-methodology and Grounded Theory. 61 interviews with Brazilian experts were conducted using snowball sampling, which generated 856 opinions coded into 28 categories using the Atlas Ti Cloud tool. Q-methodology was utilized to classify these opinions as 'mostly agree' or 'mostly disagree' among 38 anonymous respondents. Factor analysis with Varimax rotation, conducted using the KADE tool, identified seven factors with a cumulative variance of 52%. The categories derived from Grounded Theory were validated through a literature review and an additional survey

involving 34 respondents. The development actions for a National Electromobility Strategy were further refined through interviews with 14 experts.

Results: The analysis revealed seven key factors characterizing the challenges and opportunities of electromobility in Brazil: (1) government policies, (2) workforce reskilling, (3) technological development, (4) cost, (5) systemic urban mobility, (6) infrastructure, and (7) environment. Findings indicate that regulations and standards for electromobility in Brazil are currently inadequate. The factor with the highest consensus was the need for more explicit and dedicated government policies supporting electrification, whereas the greatest disagreement concerned the role of hybridization as an initial stage of EM.

Conclusion: The study provides a comprehensive analysis of the opportunities and challenges of EM in Brazil, a key sector for global decarbonization. In 2019, transport emissions increased by just 0.5%, a significant improvement compared to the average of 1.9% per year since 2000, driven by electrification, energy efficiency, and biofuels. However, transport still accounts for 24% of direct CO₂ emissions from fossil fuel combustion, with road vehicles (trucks and buses) accounting for three-quarters of this total. This scenario highlights the urgency of a sustainable and technological transition in emerging countries.

The analysis of the opinions of 61 Brazilian experts using the Q methodology highlights that the transition to EM in Brazil faces specific challenges: the high cost of electric vehicles, the automotive industry's dependence on conventional technologies, and limited electrical infrastructure. However, the country also has competitive advantages, such as a robust auto parts industry, which can be leveraged with targeted investments in hybrid and electric propulsion technologies adapted to the local context.

The recommendations highlight the importance of integrated public policies, including tax incentives, strengthening charging infrastructure, and environmental education, to shape a new mindset toward electric mobility. In addition, urban mobility strategies, such as expanding micro-mobility and adopting electric buses, can be key to more sustainable cities. The Brazilian transition also offers valuable lessons for other emerging countries with significant automotive industries, such as India, Mexico, and Argentina.

The data indicates that the success of EM will depend on a coordinated effort between government, the private sector, and civil society to address financial, technical, and cultural obstacles. Despite the limitations of the research, which did not cover all relevant stakeholders, the results suggest that aligning industrial policies with global sustainability goals will be

crucial to transforming mobility in Brazil and other emerging markets. Future research should expand the sample, incorporating startups, non-governmental organizations (NGOs), and auto parts manufacturers, and explore new solutions for micromobility and integration with renewable energies, aiming at a more equitable and sustainable transition.

Keywords: electric vehicles, electromobility, electric mobility, Q methodology, Grounded Theory.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Framework de políticas de VE.....	30
Figura 2: Roda de pesquisa (research wheel).	37
Figura 3: Consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil em 2023, OCDE 2022 e Mundo 2021.....	52
Figura 4: Matriz Elétrica Mundial 2021.	53
Figura 5: Matriz Elétrica Brasileira 2023.	53
Figura 6: Cruzando o Abismo do VE para a penetração no mercado: uma perspectiva multinível.	71
Figura 7: Uso da Metodologia Q com a GT e as ferramentas de software utilizadas.	85
Figura 8: Quadro de distribuição do Q set.	93
Figura 9: Documentos pesquisados da base Scopus por ano.....	96
Figura 10: Sequência das entrevistas de validação.....	102
Figura 11: Diagrama de declividade (Scree test).	118
Figura 12: Framework para superar desafios e explorar oportunidades.	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das etapas da pesquisa, perfil dos respondentes e técnicas de pesquisa.	87
Tabela 2: Validação das ações por meio de entrevistas	102
Tabela 3: Vínculo dos entrevistados dentro das macro categorias.	109
Tabela 4: Q Set de Eletromobilidade.....	111
Tabela 5: Framework de análise inicial.	116
Tabela 6: Características fatorais	118
Tabela 7: <i>Rank</i> dos escores fatorais e os valores Z para cada declaração (Statement)	120
Tabela 8: Confronto conceitual das opiniões versus a literatura científica encontrada.....	141
Tabela 9: Fatores que mais contribuem para a EM no Brasil	146
Tabela 10: Qual é a melhor estratégia de introdução da EM no Brasil.	148
Tabela 11: Qual deve ser o papel do Governo no desenho da EM (múltipla resposta).	150
Tabela 12: Framework validado	151
Tabela 13: Matriz de fator com a definição de classificações sinalizadas	154
Tabela 14: Identificação de respondentes e fatores	157
Tabela 15: Consenso e discordâncias entre os fatores	160
Tabela 16: Relação dos achados das duas metodologias utilizadas.	162
Tabela 17: Ações governamentais em desafios e oportunidades.....	167
Tabela 18: Requalificação de recursos humanos em desafios e oportunidades.	170
Tabela 19: Desenvolvimento tecnológico em desafios e oportunidades.	174
Tabela 20: Custos dos veículos em desafios e oportunidades.	175
Tabela 21: Mobilidade urbana entendida como sistêmica em desafios e oportunidades.	178
Tabela 22: Infraestrutura e matriz energética em desafios e oportunidades.....	180
Tabela 23: Meio ambiente em desafios e oportunidades.....	182
Tabela 24: Regulamentação ou Normatização	201
Tabela 25: Incentivos Fiscais (Taxas e Preços)	202
Tabela 26: Desenvolvimento da Infraestrutura.....	202
Tabela 27: Governança e Coordenação	203
Tabela 28: Comunicação e Educação	203
Tabela 29: Capacitação Técnica	205
Tabela 30: Processo de Educação do Consumidor	206
Tabela 31: Ações para tecnologia	209

Tabela 32: Ações para abordar a redução do custo dos VEs.....	212
Tabela 33: Ações para melhoria da infraestrutura de carregamento	214
Tabela 34: Ações para a promoção da melhoria da mobilidade urbana	216
Tabela 35: Ações de promoção ao meio ambiente	221
Tabela 36: Principais recomendações de ações para a EM.	223

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

Acordo de Paris da Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas	COP21
Aeronaves Elétricas de Decolagem e Pouso Vertical	VTOL
Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial	ABDI
Agência Americana de Proteção Ambiental	EPA
Agência Nacional de Energia Elétrica	ANEEL
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	ANP
Análise do Ciclo de Vida - <i>Life Cycle Analysis</i>	LCA
Associação Brasileira de Normas Técnicas	ABNT
Associação Brasileira do Veículo Elétrico	ABVE
Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores	ANFAVEA
Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social	BNDES
Baterias de Fosfato de Lítio e Ferro	LFP
Baterias de Íon-Lítio	BIL
Baterias de Óxido de Lítio-Manganês	LMO
Baterias de Óxido de Lítio-Níquel Cobalto-Manganês	NCM
Baterias de Óxido de Lítio-Níquel-Cobalto-Alumínio	NCA
Bicicletas Elétricas	EB
<i>Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung</i>	BMZ
<i>Car as a Service</i> MCI	CaaS
Carbonato de Lítio	Li ₂ CO ₃
Células a Combustível de Etanol Direto	DEFC
Células Combustível de Membrana Polimérica	PEM
Células Combustível de Óxido Sólido	SOFC
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos	CGEE
Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia	CENSIPAM
Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais	CEMADEN
Conselho Nacional de Trânsito	CONTRAN
Complexo Tecno-Institucional	CTI
Contribuições Pretendidas Nacionalmente Determinadas	INDC
Custo Total de Propriedade	TCO
Departamento de Energia dos EUA	DOE
<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>	GIZ
Dióxido de Carbono	CO ₂
Dólar Americano	US\$
Eletromobilidade	EM
Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial	Embrapii
Escores Z	Z-scores
Estação de Carregamento Elétrico	CS
Estados Unidos da América	EUA
Fabricantes do Equipamento Original	OEM
Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores	FENABRAVE

Financiadora de Estudos e Projetos	Finep
Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças	SWOT
Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa	FUNDEP
Gás Natural Liquefeito	GNL
Gás Natural Veicular	GNV
Gases de Efeito Estufa	GEE
Geração Distribuída	GD
<i>Global Environment Facility</i>	GEF
Grau de Hibridização	DoH
<i>Grid-to-Vehicle</i>	G2V
<i>Grounded Theory</i>	GT
Imposto sobre Operações Financeiras	IOF
Imposto sobre Produtos Industrializados	IPI
Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores	IPVA
Instituições de Ensino Superior	IES
Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade	IABS
Instituto Nacional de Meteorologia	INMET
<i>Ken-Q Analysis Web Application</i>	KADE
Medida Provisória	MP
Metodologia de Perspectiva Multinível	MLP
Micrómetro	µm
Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente	Mt CO ₂ -eq
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação	MCTI
Ministério do Desenvolvimento Regional	MDR
Monóxido de Carbono	CO
<i>Noise, vibration and harshness</i>	NVH
Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	ODS
Ordenamento Q	Q Sort
Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico	OCDE
Óxidos de Nitrogênio	NO _x
Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas	IPCC
Pesquisa e Desenvolvimento	P&D
Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica	PNME
Potencial de Aquecimento Global - <i>Global Warming Potential</i>	GWP
Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente	PNUMA
Programa de Modernização Veicular e Mobilidade Elétrica	MoVE
Programa de Renovação de Frota do Transporte Público Coletivo Urbano	Refrota
Programa Nacional do Alcool	PROALCOOL
Projeto de Lei do Senado Federal	PLS
São Paulo Transporte S/A	SPTrans
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial	SENAI
Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores	SINDIPEÇAS
Sistema Interligado Nacional	SIN
Sistema Nacional de Meteorologia	SNM

Sistemas de Propulsão Eficiente	PROMOB-e
<i>Triple Bottom Line</i>	TBL
União Europeia	UE
<i>Vehicle-to-Everything</i>	V2X
<i>Vehicle-to-Grid</i>	V2G
<i>Vehicle-to-Infrastructure</i>	V2I
<i>Vehicle-to-Vehicle</i>	V2V
Veículo com Emissão Zero	ZEV
Veículo Leve sobre Trilhos	VLT
Veículos a Célula de Combustível	FCEV
Veículos com Combustível Alternativo	AFV
Veículos convencionais com motor à combustão interna	MCIICE
Veículos Elétricos	VE
Veículos Elétricos a Bateria	BEV
Veículos Elétricos Híbridos	HEV
Veículos Elétricos Híbridos Plug-in	PHEV
<i>Well-to-Wheel – Poço-à-Roda</i>	WTW
<i>Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator</i>	ZEBRA

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	23
1.1. Como alguns países emergentes abordam o tema	28
1.1.1. China.....	29
1.1.2. Rússia.....	30
1.1.3. Índia.....	31
1.1.4. África do Sul.....	33
1.2. Tema, problema e hipóteses	33
1.3. Justificativa.....	39
1.4. Objetivo geral e específico	42
1.5. Relevância e originalidade da Tese	44
1.6. Estrutura da Tese.....	46
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	48
2.1. Introdução.....	48
2.2. Mudança climática e gases de efeito estufa.....	48
2.3. Matrizes energética, elétrica e estratégia nacional	51
2.4. Incentivos fiscais	59
2.5. Desenvolvimento tecnológico.....	62
2.6. Biocombustível e eletromobilidade	64
2.7. Transição energética	69
2.8. Bicicletas elétricas e soluções de última milha.....	73
2.9. Custos.....	73
2.10. Mobilidade sistêmica e saúde	76
2.11. Infraestrutura.....	77
2.12. A importância na regulamentação local.....	79
2.13. Comportamento e adoção do consumidor.....	80
2.14. Governança e Dinâmica de Mercado dos VEs.....	82
3. METODOLOGIA	85
3.1. Análise de documentos	89
3.2. Desenvolvimento do Pacote ‘Q sort’	89
3.3. Codificação inicial.....	91
3.4. Administração do Q-Sort.....	92
3.5. Codificação focalizada.....	94
3.6. Análise dos dados.....	95
3.7. Tabela de dupla entrada	95
3.8. Codificação teórica.....	97

3.9.	Interpretação dos dados.....	98
3.10.	Relação dos achados nas duas metodologias.....	100
3.11.	Recomendações de uma Estratégia Nacional para a Eletromobilidade	100
3.12.	Validação das recomendações de uma Estratégia Nacional de EM	101
4.	RESULTADOS DA ANÁLISE DA EM NO BRASIL.....	103
5.1.	Análise documental	103
4.1.1.	Histórico da evolução dos incentivos à EM no Brasil.....	103
5.1.2.	Hidrogênio.....	106
4.1.3.	Biocombustíveis.....	107
4.1.4.	Regulamentação local.....	108
4.2.	Desenvolvimento do pacote “Q sort”	109
4.3.	Codificação inicial.....	110
4.4.	Administração do Q sort	115
4.5.	Codificação focalizada.....	116
4.6.	Análise dos dados.....	117
4.7.	Análise de Fatores.....	122
4.7.1.	Análise do Fator 1	123
4.7.2.	Análise do Fator 2	127
4.7.3.	Análise do Fator 3	129
4.7.4.	Análise do Fator 4	133
4.7.5.	Análise do Fator 5	135
4.7.6.	Análise do Fator 6	137
4.7.7.	Análise do Fator 7	139
4.8.	Tabela de Dupla Entrada.....	141
4.9.	Codificação Teórica (GT).....	146
4.9.1.	Resultados da pesquisa online do Framework (GT)	146
4.9.2.	Categoria Central (<i>Core Category</i>) (GT)	151
4.10.	Interpretação dos Dados.....	153
4.10.1.	Análise dos Z-scores dos respondentes	153
4.10.2.	Consenso e declarações distintas (Metologia Q)	157
4.11.	Relação dos achados das duas metodologias.....	162
4.11.1.	Visão ampla a favor da EM.....	163
4.11.2.	Requalificação de recursos humanos e cadeia produtiva.....	168
4.11.3.	Desenvolvimento de tecnologias de propulsão.....	170
4.11.4.	Custos dos VEs	174
4.11.5.	Melhoria da mobilidade urbana entendida como sistêmica	176

4.11.6.	Rotas técnicas para introduzir à EM.....	178
4.11.7.	Oportunidade ambiental para educação e mobilidade urbana	180
4.11.8.	Reflexão sobre a sobreposição dos fatores encontrados	183
5.	RECOMENDAÇÕES DE UMA ESTRATÉGIA NACIONAL DA EM.....	184
5.1.	Fator 1: Visão ampla a favor da EM.....	184
5.2.	Fator 2: Requalificação dos Recursos Humanos.....	184
5.3.	Fator 3: Desenvolvimento de tecnologias de propulsão.....	184
5.4.	Fator 4: Custo do VE.....	184
5.5.	Fator 5: Melhoria da Mobilidade Urbana Sistêmica.....	185
5.6.	Fator 6: Rotas técnicas para introduzir à EM.....	185
5.7.	Fator 7: Oportunidade ambiental para educação e mobilidade urbana.....	185
6.	DISCUSSÕES.....	187
6.1.	O Governo como agente promotor da mudança.....	193
6.1.1.	Regulamentação ou normatização.....	193
6.1.2.	Incentivos fiscais (taxas e preços).....	197
6.1.3.	Prioridade de tráfego com a definição de regras de convivência viária.....	198
6.1.4.	Definição de uma governança	198
6.1.5.	Subsídio em investimento	200
6.2.	Requalificação dos Recursos Humanos.	203
6.2.1.	Capacitação técnica.....	203
6.2.2.	Processo de educação do consumidor.....	204
6.3.	Tecnologia.....	207
6.3.1.	Projetos demonstradores	207
6.3.2.	Promover parcerias internacionais para o desenvolvimento de acumuladores.....	208
6.3.3.	Recuperação de componentes.....	208
6.4.	Redução do custo dos VE.....	210
6.4.1.	Preço do carregamento.....	210
6.4.2.	Novos modelos de negócios.....	211
6.5.	Melhoria da infraestrutura de carregamento.....	212
6.5.1.	Incentivar municípios a regulamentar áreas centrais para eletropostos.....	212
6.5.2.	Melhorar programas de concessão rodoviária	213
6.6.	Promover a melhoria da mobilidade urbana.....	214
6.6.1.	Incentivo do uso do transporte público sustentável.....	215
6.6.2.	Promover soluções de encurtamento dos deslocamentos.....	215
6.6.3.	Promoção do uso de VE elétricos levíssimos.....	216
6.7.	Incentivos ao meio ambiente	217

6.7.1.	O uso de biocombustíveis como fator que impulsiona à eletromobilidade.....	217
6.7.2.	A aceleração da oferta de energia solar e eólica	219
6.7.3.	Incentivo à troca de experiência entre cidades	219
6.8.	Resultados de uma Estratégia Nacional	220
6.9.	Principais recomendações de ações para a EM.....	222
6.10.	Resultados da validação das recomendações de uma Estratégia Nacional em EM.....	225
6.10.1.	Visão ampla a favor da EM Políticas governamentais que impulsionem à EM.....	225
6.10.2.	Requalificação de recursos humanos.....	225
6.10.3.	Incentivo ao desenvolvimento de tecnologias de propulsão	226
6.10.4.	Redução dos custos dos VE.....	227
6.10.5.	Melhoria da mobilidade urbana	228
6.10.6.	Promover rotas técnicas para introduzir à EM.....	229
6.10.7.	Incentivos as oportunidades ambientais para educação e mobilidade urbana	230
7.	CONCLUSÃO	232
7.1.	Objetivos atingidos.....	232
7.2.	Limitações e trabalhos futuros.....	240
	Bibliografia	246
	ANEXOS	267

1. INTRODUÇÃO

Na segunda metade do século XIX, as macrotendências de industrialização e urbanização criaram problemas para a mobilidade, então dominada pelo transporte de carruagens puxadas por cavalos nas cidades, e que não podiam ser resolvidos com a otimização da tecnologia existente. Como resposta, várias soluções possíveis surgiram, incluindo bicicletas, bondes (elétricos e a vapor) e automóveis (vapor, elétricos e a gasolina) (KANGER *et al.*, 2019). Em 1900, os veículos elétricos (VE) respondiam por cerca de um terço de todos os veículos nas estradas dos EUA e até 1910, continuaram a apresentar vendas fortes. Devido à facilidade de operação e relativa limpeza, os carros elétricos eram conhecidos como "veículos femininos" na década de 1900 (SOVACOOOL, B.K. *et al.*, 2019a).

Em 1908, o Modelo T de Henry Ford tornou os carros movidos a gasolina amplamente disponíveis e acessíveis, auxiliados pelo arranque elétrico, que eliminou dos carros a gasolina a necessidade da partida com manivela (SAFARI, 2018). Some-se a isso, a densidade energética da gasolina (13.000 Wh/kg) e a ampla infraestrutura dos postos de carregamento, que permitiram uma sociedade voltada à mobilidade do automóvel (GIRISHKUMAR *et al.*, 2010) *et al.*, 2010). (SOVACOOOL, Benjamin K.; AXSEN, 2018) chamaram esse sistema de **automobilidade**, que se refere ao domínio contínuo e auto perpetuante de veículos privados movidos a gasolina usados principalmente por ocupantes individuais - um sistema que claramente tem amplos impactos ambientais e sociais.

Durante o embargo do petróleo árabe nos anos 1970 a atividade de desenvolvimento de VE foi retomada, mas os preços da gasolina caíram ainda no final da década e, portanto, o interesse diminuiu. Na década de 1980, as preocupações ambientais mais uma vez se tornaram a principal motivação por trás do esforço do VE e algumas experiências de introdução foram possíveis (RAJASHEKARA, 1994; THIEL; TSAKALIDIS; JÄGER-WALDAU, 2020). Uma dessas experiências está no documentário “*Who killed the Electric Car*” (Quem matou o carro elétrico) dirigido por Chris Paine, que explora a criação, comercialização limitada e subsequente retirada do mercado do EV1 da General Motors na década de 1990 nos EUA (MOORE; RANDALL; HART, 2009).

O início do século XXI é caracterizado pela economia do conhecimento, que consiste na acumulação de capital, tecnologia, capacitações tecnológicas e ciência aplicados à condução das atividades produtivas. Sua principal característica é a inovação permanente em processos e métodos, assim como em produtos e tecnologias propondo-se ser um paradigma de produção

que continuamente reinventa a si mesma (ROBERTO MANGABEIRA UNGER, 2018, p. 25). Neste cenário busca-se por soluções inovadoras e sustentáveis para os problemas atuais como as mudanças climáticas produzidas pelos gases de efeito estufa (GEE), a poluição aérea nas grandes cidades, os eventos climáticos extremos e os altos preços do petróleo, amalgamados com o domínio das tecnologias digitais como novo centro vital das economias. No centro dessas soluções sustentáveis, que integram princípios da ‘*Triple Bottom Line*’ (TBL) de equidade social, proteção ambiental e crescimento econômico, está o problema de gerenciamento de sistemas socioeconômicos complexos (*wicked problems*) sob incerteza e uma pluralidade de valores e perspectivas (GUIMARÃES; RIBEIRO; DE AZEVEDO-FERREIRA, 2018).

As falhas existentes no nosso atual modelo econômico, que podem prejudicar de forma significativa a estabilidade a longo prazo e o crescimento que o mundo precisa, apontam para o desenvolvimento sustentável, que foi definido pelo documento intitulado “Nosso Futuro Comum” (*Our Common Future*), elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento e publicado em 1987 (BRUNDTLAND, 1987), no qual desenvolvimento sustentável é concebido como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. Essa definição reafirma uma visão importante do modelo de desenvolvimento adotado pelos países industrializados e replicado pelos países em desenvolvimento, com ênfase nos riscos do uso excessivo dos recursos naturais, sem levar em conta a capacidade dos ecossistemas de sustentá-los.

Esse conceito é tão importante que, em 2015, as Nações Unidas endossaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Dois destes estão relacionados ao setor de transportes: um (nº9, Indústria, Inovação e Infraestrutura) aponta para a necessidade de construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização sustentável e fomentar a inovação; o segundo (nº11, Cidades e comunidades sustentáveis) diz respeito à necessidade de tornar as cidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis (CARTENÌ *et al.*, 2020). (SACHS *et al.*, 2019) relatam a transformação necessária da descarbonização energética e da indústria sustentável, que visa garantir o acesso universal às fontes de energia modernas, descarbonizar o sistema energético até meados do século, em consonância com o Acordo de Paris, assinado por 195 países em 2015 e ratificado pelo Brasil, e reduzir a poluição industrial do solo, da água e do ar (CEBDS, 2019). Segundo (MORO; LONZA, 2018), o uso de VE em vez de veículos a gasolina pode economizar cerca de 60% das

emissões de GEE em todos ou na maioria dos estados membros da União Europeia, dependendo do consumo estimado dos VE.

Em 2023, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 428 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq), sendo a maior parte (217 Mt CO₂-eq) gerada no setor de transportes (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2024). Uma avaliação dos parâmetros de saúde e socioeconômicos associados à exposição a aerossóis (particulados com tamanho médio de partícula $\leq 2.5 \mu\text{m}$) no carro executada por (KUMAR, P. *et al.*, 2021) em dez cidades, entre essas São Paulo, destaca a importância da implementação de soluções que promovam impacto positivo na vida das pessoas, pois foi observado uma correlação clara nos aumentos das despesas de saúde e perdas econômicas.

Assim, a mobilidade elétrica, ou eletromobilidade (EM), representa uma transição necessária para sair de um modo de transporte que depende do uso de combustíveis fósseis nocivos, cujas emissões prejudicam o meio ambiente nos centros urbanos. A EM, sendo um dos ramos da “mobilidade inteligente”, faz parte, portanto, de um pilar das “cidades inteligentes” (*smart cities*), que são um conjunto de estratégias e planos de planejamento urbano que visam garantir o desenvolvimento econômico sustentável e uma alta qualidade de vida por meio de uma gestão hábil dos recursos disponíveis (alimentos, mineração, energia, serviços etc.) (GARRUTO *et al.*, 2020). Segundo a (ABDI, 2018) uma cidade inteligente combina tecnologia, gestão urbana e o exercício de novos modelos de relações para melhorar a vida das pessoas que a habitam.

(LEURENT; WINDISCH, 2011) destacam motivações para a ação pública alcançar benefícios para a sociedade, pois a mobilidade elétrica precisa ser atraente para os usuários, não apenas desenvolvendo sua disponibilidade em termos de veículos e infraestrutura de carregamento, mas também garantindo sua acessibilidade a longo prazo ao longo da vida útil do veículo, ou melhor, durante todo o período de propriedade do veículo. A sociologia da ação pública tem sido de nos levar a pensar a produção cotidiana de políticas públicas como um conjunto de processos de ação coletiva (LASCOUMES; GALES, 2007). Assim, conforme (PIRES, 2016) a ideia de ação pública vem enfatizar, sobretudo, a produção da intersetorialidade como algo que requer essencialmente a mobilização dos diversos atores relevantes, o estímulo e a sustentação das interações cotidianas e organizadas entre eles na produção contínua de um programa, projeto ou ação governamental. Entre os obstáculos à

intersetorialidade na implementação e na gestão de políticas públicas está à ausência de uma visão intersetorialmente compartilhada dos problemas a serem enfrentados pelas políticas públicas e da forma como esses problemas devem ser enfrentados. Falta aqui a produção de convergências de interesses e visões e objetivos minimamente comuns entre os atores envolvidos.

Entre os diversos desafios para uma maior penetração da EM na frota global, destaca-se o conceito de "**carbon lock-in**"¹. Esse conceito, apresentado por (UNRUH, 2000), sugere que as economias industriais estão enraizadas em sistemas de energia e transporte baseados em combustíveis fósseis. Tal enraizamento é resultado de um processo de coevolução tecnológica e institucional, sustentado pela dependência de alternativas (*path dependence*), que é reforçada por crescentes retornos de escala, tanto tecnológicos quanto institucionais. Esse fenômeno cria barreiras estruturais significativas para a transição a sistemas de baixa emissão de carbono, inibindo a disseminação de tecnologias ambientalmente mais sustentáveis, mesmo quando estas apresentam vantagens econômicas e ambientais evidentes.

(UNRUH, 2000) introduz a ideia do Complexo Tecno-Institucional (CTI) para explicar como as interações combinadas entre sistemas tecnológicos e instituições de governança contribuem para a perpetuação do *lock-in*. Este complexo não apenas dificulta a difusão de tecnologias que economizam carbono, mas também evidencia falhas persistentes de mercado e de políticas públicas, que são subestimadas por modelos econômicos tradicionais. Estes modelos tendem a abstrair tanto a evolução tecnológica quanto os aspectos institucionais, resultando em análises enviesadas que não capturam plenamente as barreiras sistêmicas enfrentadas pelas tecnologias emergentes.

Embora o *lock-in* baseado em carbono seja um dos sistemas tecno-institucionais mais robustos da história, ele não é intransponível. Mudanças incrementais e transições tecnológicas disruptivas ao longo do tempo demonstram que é possível romper com esse paradigma. Exemplos históricos incluem a evolução do uso de óleo de baleia para gás e iluminação elétrica, das válvulas aos transistores e circuitos integrados, e dos sistemas fixos de telefonia para tecnologias sem fio. Contudo, conforme argumentado por (UNRUH, 2002), a superação dessas barreiras exige um conjunto de ações políticas estratégicas e coordenadas, além de inovações tecnológicas capazes de desafiar os sistemas estabelecidos.

¹ "*Lock-in*" refere-se a uma situação em que indivíduos, organizações ou sistemas ficam dependentes de uma solução tecnológica específica, tornando a mudança para alternativas mais difíceis ou inviáveis, devido a custos elevados, barreiras institucionais ou vantagens acumuladas da solução adotada.

Entre as possibilidades de ação, destaca-se o fortalecimento de abordagens em nicho, que fomentem o desenvolvimento e a adoção de tecnologias de baixo carbono, tornando-as competitivas antes que danos climáticos irreversíveis ocorram. No entanto, essa competitividade depende dos incentivos e desincentivos moldados pelas instituições dentro do CTI, que frequentemente favorecem a expansão dos sistemas baseados em carbono. Outra via consiste em promover o reconhecimento social e político dos impactos ambientais das tecnologias fósseis por meio de pesquisas científicas e políticas educacionais. Essa abordagem visa criar um consenso crítico capaz de impulsionar ações políticas, ainda que o desafio da complexidade do problema climático e a influência de interesses contrários possam dificultar esse processo.

Adicionalmente, políticas mais robustas podem ser desencadeadas por eventos focais, como crises climáticas reconhecidas, que frequentemente atuam como catalisadores de mudanças significativas. Embora eventos desse tipo possam motivar ações decisivas, sua imprevisibilidade e a dificuldade em estabelecer conexões causais diretas entre eventos climáticos extremos e a acumulação de gases de efeito estufa complicam sua identificação e resposta. Caso atrasos persistam, pode ser necessário implementar medidas extremas, como a criação de um novo CTI dedicado à rápida difusão de tecnologias de energia não baseadas em carbono. Essa abordagem, embora eficaz no curto prazo, deve ser flexível e projetada para evoluir ao longo do tempo, evitando repetir os erros do passado ao tratar uma solução como definitiva para o problema climático.

Nesse sentido, a proposta do *Big Push Ambiental* descrita por (GRAMKOW, 2019) reforça a importância de investimentos transformadores que promovam um desacoplamento entre crescimento econômico e emissões de GEE, permitindo a reconciliação entre desenvolvimento e sustentabilidade. Inspirada na teoria de (ROSENSTEIN-RODAN, 1961), essa abordagem destaca a necessidade de um conjunto substancial e complementar de investimentos – públicos e privados – que, além de dinamizar a economia e gerar empregos, sejam direcionados a tecnologias e mercados menos intensivos em carbono. Com base nesse modelo, o Brasil, por exemplo, apresenta um potencial de investimentos de baixo carbono estimado em USD 1,3 trilhões até 2030, abrangendo setores como energias renováveis e infraestrutura urbana. Assim, políticas estruturais de longo prazo, como as previstas no *Big Push Ambiental*, podem ser fundamentais para transformar crises em oportunidades, promovendo um novo ciclo de crescimento sustentável e equitativo.

Com efeito, a transição energética na mobilidade é enfrentada pelos países de maneira distinta em função de estratégias adotadas pelos seus governos e se necessita conhecer os

principais fatores para se superar desafios e explorar oportunidades. A melhor forma de se organizar e solucionar esses fatores é por meio de um *framework*, que é uma ferramenta capaz de esclarecer e oportunizar soluções para o problema da transição energética na mobilidade. Assim, este trabalho busca definir um *framework* para superar desafios e explorar oportunidades na EM do Brasil.

1.1. Como alguns países emergentes abordam o tema

A questão da EM por meio da transição energética nos transportes é abordada pela maioria dos países que definem estratégias diferentes ao tratar o tema. A questão das mudanças climáticas aflige a todos os países e o Acordo de Paris foi negociado em 2015 por 194 partes (193 países e a União Europeia). Entre todos esses países um grupo se destaca – o dos BRICS². O investimento em energias renováveis está ganhando velocidades em muitas economias emergentes.

Os países do BRICS alcançaram um crescimento econômico significativo por três décadas; eles contribuem com 21% do produto interno bruto (PIB) mundial (DANISH; ULUCAK; KHAN, 2020). O rápido crescimento econômico nas economias do BRICS continuou, e o produto interno bruto (PIB) total desses países em transição aumentou de US\$ 2.187 bilhões (em US\$ constantes de 2010) para US\$ 16.266 bilhões de 2005 a 2016, com uma taxa de crescimento média anual de 6,5% (DANISH; WANG, 2018). Entretanto, devido ao rápido crescimento econômico, esses países do BRICS consomem 40% da energia mundial e contribuem amplamente para aumentar as emissões globais de CO₂ (DANISH; ULUCAK; KHAN, 2020).

A cúpula do Brics realizada em Joanesburgo, entre 22 e 24 de agosto de 2023, marcou um momento histórico com a expansão do bloco, que passou a incluir seis novos membros: Argentina, Egito, Etiópia, Irã, Arábia Saudita e Emirados Árabes Unidos. Liderada principalmente pela China e pela África do Sul, a ampliação reflete o crescente papel dos países emergentes no cenário global. Segundo (MORENO-MONSALVE; DELGADO-ORTIZ, 2024), o BRICS reúne economias que têm crescido mais rapidamente do que os países da OCDE, enquanto (BASKARAN; CAHILL, 2023) destacam que o grupo é responsável por 72%

² É um acrônimo de agrupamento de países: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, formulado por Jim O'Neil em estudo de 2001 intitulado “*Building Better Global Economic BRICs*”. No início de 2024, o grupo de países que compõem o BRICS foi ampliado para incluir Argentina, Egito, Etiópia, Irã, Arábia Saudita e Emirados Árabes Unidos.

dos minerais de terras raras e 42% do petróleo mundial, reforçando sua relevância econômica e estratégica.

Segundo (SEBRI; BEN-SALHA, 2014), os BRICS, já em 2012, representavam 36% da capacidade total de energia renovável global e 27% da capacidade renovável não hidrelétrica. Eles ocupam a segunda linha atrás da União Europeia, que responde por 44% da capacidade total de energia renovável global. Assim, é importante verificarmos algumas das principais estratégias adotadas por esses países que se agrupam por algumas similaridades com o Brasil.

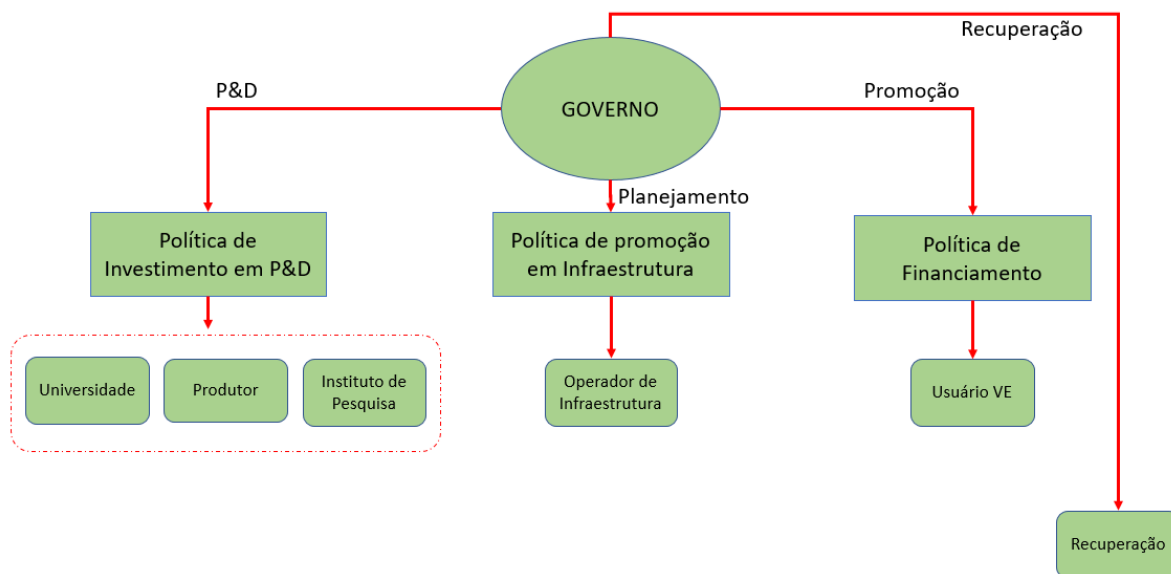
1.1.1. China

Em 2021, cerca de 80 milhões de automóveis foram produzidos em todo o mundo. Naquele ano, a produção da China representou cerca de 32,5% da produção global de automóveis (ACEA, 2023). Segundo (ZHANG *et al.*, 2017) já em 2009, a China tinha ultrapassado os Estados Unidos (EUA) como a nação com maior capacidade de produção e mercado do mundo de veículos. Em 2014, o número de automóveis de propriedade civil na China tinha atingido 145,98 milhões. Essa demanda tornou a China o maior importador mundial de petróleo superando os EUA com uma média diária de importação de petróleo de 6,3 milhões de toneladas, já em 2013.

Impulsionado pela urgência de reduzir as emissões de GEE no setor de transporte, o governo chinês estabeleceu metas ambiciosas para a adoção de veículos elétricos (LI, W.; YANG; SANDU, 2018). Foi em 2010, que o Conselho de Estado Chinês emitiu a “Decisão sobre Aceleração do Cultivo e Desenvolvimento de Indústrias Estratégicas Emergentes”, que classificou a indústria de VE, a indústria de conservação de energia, a indústria de proteção ambiental e outras indústrias relacionadas como indústrias estrategicamente emergentes (WU *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2017). Assim, percebe-se que a China estabeleceu uma estratégia de liderar a produção de VE, pois pretende diminuir a poluição nos grandes centros urbanos, diminuir sua dependência de petróleo e liderar globalmente a indústria de VE por sua escala de produção.

A Figura 1 mostra que o governo chinês lançou principalmente três categorias de políticas de VE: investimento em P&D, promoção de infraestrutura e política financeira.

Figura 1: Framework de políticas de VE.



Fonte: Adaptado de (ZHANG *et al.*, 2017).

O investimento em P&D visa estimular a inovação da tecnologia VE em universidades, fabricantes e institutos de pesquisa, fornecendo capital do governo. A promoção de infraestrutura formula o planejamento de construção, padrão de interface, preços de cobrança e subsídio de recompensa da infraestrutura de carregamento de VE, que está relacionado aos operadores de infraestrutura. A política de financiamento corresponde ao consumo e adoção do ciclo de vida dos VEs, e tem como objetivo promover a adoção de VEs oferecendo aos usuários de VEs um subsídio de preço e preferência fiscal (ZHANG *et al.*, 2017). A política do governo chinês de tecnologia de reciclagem de baterias de acumuladores de energia de VE, publicada em 11 de setembro de 2015, orienta a recuperação de baterias de acumuladores de energia.

1.1.2. Rússia

Para (SEMIKASHEV *et al.*, 2022) parece ser viável para a Rússia desenvolver o mercado emergente de VEs, embora a expansão do uso de VEs seja frequentemente associada de forma estereotipada a uma diminuição na demanda por combustíveis de hidrocarbonetos, que são um dos principais produtos da economia nacional russa, e também apesar do fato de que esse mercado será amplamente baseado em modelos importados, principalmente nos estágios iniciais. Criar barreiras à entrada de VEs na vida cotidiana da Rússia não é capaz de impedir que as montadoras globais parem a produção de carros tradicionais com MCI.

Em agosto de 2021, o Governo da Rússia aprovou o conceito para o desenvolvimento da produção e uso do transporte rodoviário elétrico na Rússia até 2030. O governo oferece

subsídios aos fabricantes de VEs e baterias para cofinanciar os custos associados à construção de usinas e a contratos especiais de investimento. Os VEs também poderão circular gratuitamente nas estradas com pedágio, ainda em caráter experimental. Investimentos da ordem de € 8,6 bilhões no desenvolvimento de veículos movidos a bateria e hidrogênio até 2030 devem aumentar o uso dos VEs (HYDROGEN CENTRAL, 2021). A Rússia também assinou e ratificou o Acordo de Paris em 2016, estabelecendo como meta uma redução de 25 a 30% do CO₂ abaixo do nível de 1990 até 2030, e ratificou-o com a resolução do governo nº 1.228 de 21 de setembro de 2019 (KOLPAKOV; GALINGER, 2020).

A estratégia russa, segundo (PORFIRIEV; SHIROV; KOLPAKOV, 2020) baseia-se nos seguintes princípios:

1) A Rússia tem sido líder mundial na redução de emissões de GEE desde 1990, portanto, não existe nenhuma razão sólida para sua mudança mais rápida para compromissos climáticos excessivamente rigorosos que resultam em restrições adicionais infundadas à sua política socioeconômica;

2) O principal impedimento para o desenvolvimento sustentável da Rússia não é um alto nível de emissões de GEE, mas a estagnação econômica. Dado que o cenário razoável de redução das emissões de GEE implica o caminho do desenvolvimento que permite à economia nacional crescer a uma taxa de 3% do PIB médio anual no mínimo;

3) As prioridades de ação na diminuição de GEE devem envolver a melhoria do uso da terra, mudança no uso da terra e potencial do setor florestal, promovendo políticas sólidas de gestão de recursos naturais e projetos voluntários para aumentar a redução de carbono e a capacidade de reservatório dos ecossistemas de florestas e zonas úmidas;

4) As prioridades de ação para reduzir as emissões de GEE assumem o imperativo e a conveniência de estimular economicamente a mudança estrutural do setor energético que envolve cadeias produtivas e tecnológicas no país e não prevê crescimento excessivo de preços.

Acrescente-se que a atual guerra com a Ucrânia isolou o país dos países europeus e dos EUA, com isso, a estratégia é de promover a EM, mas em um nível baixo que não afete o crescimento econômico, principalmente na produção de hidrocarbonetos onde o país lidera.

1.1.3. Índia

A Índia tem a quarta maior indústria automobilística do mundo. A indústria está se expandindo com uma taxa de crescimento anual de 7,01%; abrangeu 4,02 milhões de unidades

(exceto para veículos de duas rodas ou motocicletas) em 2018. De acordo com as estatísticas mais recentes, a produção de veículos na Índia, incluindo veículos de passageiros, triciclos motorizados, motocicletas e quadriciclos, alcançou 2.358.041 unidades em abril de 2024 (IBEF, 2025). Atualmente, mais de 210 milhões de veículos licenciados circulam pela rede rodoviária indiana, sendo que as motocicletas dominam a frota com 79%, seguidas pelos veículos de passageiros (14%). Os 7% restantes são compostos por veículos comerciais, como triciclos motorizados e veículos comerciais leves (SINGH, V.; SINGH; VAIBHAV, 2021).

Com o compromisso do governo indiano de garantir que 30% das vendas de novos veículos sejam elétricos até 2030, a Índia está posicionada para se tornar o maior mercado de VEs no mundo, representando uma oportunidade de investimento superior a US\$ 200 bilhões nos próximos 8 a 10 anos. O setor automobilístico já atraiu um fluxo cumulativo de Investimento Direto Estrangeiro de aproximadamente US\$ 36,27 bilhões entre abril de 2000 e março de 2024, refletindo o crescente interesse internacional no mercado automotivo indiano. De acordo com as estatísticas atuais, a produção de veículos da Índia é de mais de 25 milhões de unidades e há mais de 210 milhões de veículos licenciados na rede rodoviária da Índia (SINGH, V.; SINGH; VAIBHAV, 2021).

Assim, o governo indiano apresentou planos ambiciosos de introduzir os VEs para o mercado indiano e acompanhar o desenvolvimento de VEs globalmente. O governo da Índia reconhece a urgência de procurar soluções de mobilidade sustentável para reduzir a dependência de fontes de energia importadas, reduzir as emissões de GEE e mitigar os impactos adversos do transporte, incluindo o aquecimento global (GOEL; SHARMA; RATHORE, 2021). Mas o mercado de VE é extremamente pequeno ainda na Índia e está ficando para trás de outros países na implantação de VEs (SINGH, V.; SINGH; VAIBHAV, 2021). O Plano Nacional de Missão de Mobilidade Elétrica 2020 (NEMMP, 2020) veio com um relatório detalhado sobre os VEs (KUMAR, R.; PADMANABAN, 2019). Este Plano apresenta uma preocupação com a segurança energética futura do país, pois há uma dependência em grande parte das importações de petróleo, que é de cerca de 92% da demanda total.

Segundo (CHHIKARA *et al.*, 2021), a inclinação do governo para o investimento em P&D e a oferta de benefícios financeiros e não financeiros foram identificados como os principais impulsionadores da EM na Índia. Infraestrutura precária e problemas técnicos prevalentes relacionados ao produto, alto custo de fabricação devido à importação de matéria-prima no país e apoio legislativo insuficiente em torno de incentivos oferecidos aos clientes surgiram como grandes barreiras.

Conclui-se que o país apresenta ainda um mercado incipiente de VE, mas já estabeleceu um plano nacional e busca diminuir sua dependência em combustíveis fósseis importados.

1.1.4. África do Sul

O número de veículos rodoviários na África do Sul aumentou em um terço, de 8,6 milhões em 2009 para 11,5 milhões em 2019. Seguindo as tendências atuais, haverá mais de 14 milhões de automóveis até 2050 (TONGWANE; MOELETSI, 2021). Segundo (MOELETSI, 2021) o transporte no país contribui com cerca de 11% do total de emissões, com a participação do transporte rodoviário em torno de 91%, mesmo assim, a adoção de VEs têm sido extremamente lenta com um volume de vendas muito baixo. As baixas vendas de VEs na África do Sul são parcialmente atribuídas às altas tarifas alfandegárias aplicadas, pois o país decretou taxas e impostos punitivos sobre VEs importados. Os veículos com motor de combustão interna importados da Europa e de outras partes do mundo têm uma taxa alfandegária de 18%, enquanto os veículos elétricos têm uma taxa alfandegária de 25% (SHOWERS; RAJI, 2021).

A África do Sul não possui nenhuma política importante que possa ajudar o país a moldar o caminho a seguir em relação ao mercado de veículos elétricos e à proporção da indústria local (TONGWANE; MOELETSI, 2021), o planejamento integrado de recursos da África do Sul delineia um plano de desenvolvimento de infraestruturas para os recursos energéticos do país até 2030. Este quadro nacional enfatiza que o carvão continuará a desempenhar um papel significativo na matriz energética. O setor energético na África do Sul é um dos principais contribuintes para as emissões de GEE, representando 80% do total nacional, sendo a geração de eletricidade e a produção de combustíveis líquidos responsáveis por 50% destas emissões. Além disso, o setor dos transportes consome 28% da energia final do país, contribuindo com 11% para as emissões nacionais de GEE. Isso reforça que o país terá desafios na transição de sua matriz energética.

Percebe-se, assim, que os países emergentes do BRICS estabeleceram estratégias diferentes para a transição elétrica na mobilidade, com maiores e menores avanços, e apresentam características próprias como vimos de desafios e oportunidades. É importante verificarmos se as características e fatores brasileiros podem servir a um framework que ajude países emergentes em sua transição à EM.

1.2. Tema, problema e hipóteses

(RUDESTAM; NEWTON, 2001, p. 5) relatam que uma das maneiras de se pensar nas fases do processo de pesquisa é a chamada roda de pesquisa (*research wheel*), conforme Figura

2. Onde a entrada mais comum é pela “observação empírica”. O pesquisador seleciona um tópico de uma infinidade de tópicos possíveis. O próximo passo é utilizar o processo lógico-indutivo com uma proposição, que são normalmente alguns palpites guiados por valores, suposições e objetivos que o pesquisador gostaria de ver explicado.

Assim, nossa observação empírica inicia-se com o movimento da mobilidade elétrica em diversos países, como os países emergentes do BRICS e, com a suposição que o Brasil tem uma definição estratégica de como o tema da EM se dará para reduzir os problemas de meio ambiente, principalmente de mudança climática, assim como os próprios problemas da cadeia global de produção automotiva, onde o Brasil figura como importante polo de produção e consumo. Entretanto, o país é alijado das decisões tecnológicas, uma vez que a base industrial é formada por filiais multinacionais que mantêm seus centros de decisão nos países centrais.

Um estudo da (MCKINSEY&COMPANY, 2016) elaborou oito perspectivas principais sobre a “Revolução Automotiva de 2030” para fornecer informações sobre o tipo de mudanças que estão por vir e como elas afetarão OEM³s e fornecedores tradicionais, novos *players* em potencial, reguladores, consumidores, mercados nacionais de automóveis e a cadeia de valor automotiva.

Mudança de mercados e reserva de receitas:

1. Impulsionados pela mobilidade compartilhada, serviços de conectividade e atualizações de recursos, os novos modelos de negócios podem expandir as reservas de receita automotiva em aproximadamente 30%, somando cerca de US\$ 1,5 trilhão.

2. Apesar de uma mudança em direção à mobilidade compartilhada, as vendas de unidades de veículos continuarão a crescer, mas provavelmente a uma taxa menor de aproximadamente 2% ao ano.

Mudanças no comportamento de mobilidade:

3. O comportamento da mobilidade do consumidor está mudando, levando até um em cada dez carros vendidos em 2030 a ser potencialmente um veículo compartilhado e o subsequente aumento de um mercado para soluções de mobilidade adequadas.

³ *Original Equipment Manufacturer* ou fabricante original do equipamento.

4. O tipo de cidade substituirá o país ou a região como a dimensão de segmentação mais relevante que determina o comportamento da mobilidade e, portanto, a velocidade e o alcance da revolução automotiva

Difusão de tecnologia avançada:

5. Uma vez resolvidas as questões tecnológicas e regulatórias, até 15% dos carros novos vendidos em 2030 poderão ser totalmente autônomos.

6. Os veículos eletrificados estão se tornando viáveis e competitivos; no entanto, a velocidade de sua adoção varia fortemente no nível local.

Nova competição e cooperação:

7. Dentro de um cenário mais complexo e diversificado da indústria de mobilidade, os *players* estabelecidos serão forçados a competir simultaneamente em várias frentes e cooperar com os concorrentes.

8. Espera-se que os novos participantes no mercado tenham inicialmente como alvo apenas segmentos e atividades economicamente atraentes e específicos ao longo da cadeia de valor antes de potencialmente explorar outros campos.

Acredita-se que os governos e fabricantes precisam avaliar e tomar decisões fundamentais e estrategicamente agora para moldar o futuro do setor, preparar-se para a incerteza, alavancando parcerias, adaptando as organizações e reformulando a proposta de valor.

Percebe-se que a cadeia produtiva automotiva global é complexa e envolve vários países, empresas e partes interessadas. O Brasil é um *player* importante nessa cadeia, tanto como produtor quanto como consumidor de automóveis. A base industrial no Brasil é formada por filiais de empresas multinacionais, o que pode limitar a capacidade do país de tomar decisões tecnológicas.

Um dos desafios que o Brasil enfrenta na indústria automobilística global é a falta de uma cadeia produtiva doméstica forte. Muitas das peças e componentes usados na produção de veículos no Brasil são importados, o que pode levar a custos mais altos e interrupções na cadeia de suprimentos. Conforme já observado por (FORNARI; SUZUKI; YAMADA, 2015), o câmbio automático é um exemplo de componente automotivo ainda não produzido no Brasil, apesar do crescente aumento da participação de veículos com transmissões automáticas e

automatizadas no mercado nacional. A ausência de uma produção local representa um desafio para a indústria automotiva brasileira, que busca alternativas tecnológicas competitivas e acessíveis para atender à demanda crescente por esse tipo de transmissão. Isso, por sua vez, pode dificultar a competição das montadoras brasileiras com fabricantes de outros países.

Outro desafio é a lacuna tecnológica entre as montadoras brasileiras e suas congêneres de outros países. Embora o Brasil tenha um grande mercado para automóveis, o país tem lutado para desenvolver sua própria tecnologia automotiva. Com isso, muitas das decisões tecnológicas que afetam o setor são tomadas por empresas multinacionais, que podem priorizar seus próprios interesses sobre os do mercado brasileiro.

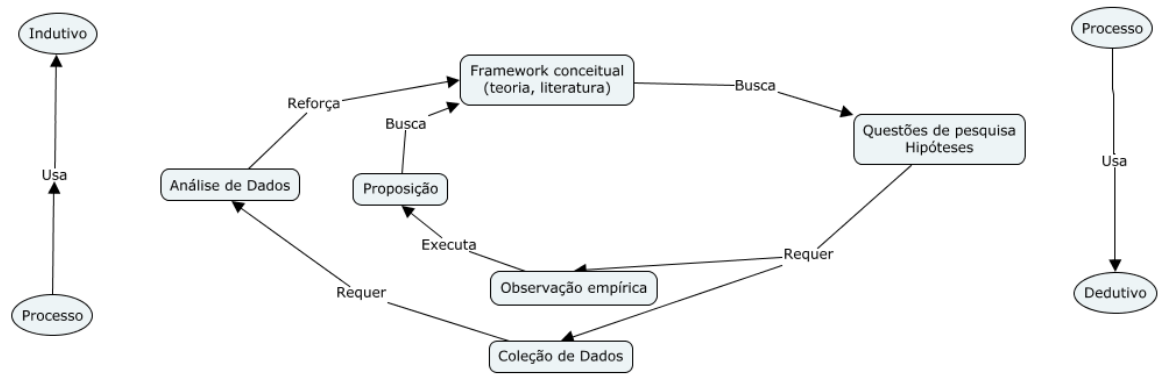
Para enfrentar esses desafios, o Brasil pode precisar investir mais em P&D doméstico no setor automotivo. Isso poderia ajudar a construir uma cadeia de suprimentos doméstica mais forte e dar às montadoras brasileiras mais controle sobre as decisões tecnológicas que afetam o setor. Além disso, uma maior colaboração entre empresas brasileiras e suas contrapartes globais pode ajudar a trazer tecnologias mais avançadas para o mercado brasileiro.

Excluídas do mercado americano e sob pressão na Europa, algumas fabricantes chinesas de VEs estão investindo fortemente no Brasil, um dos maiores mercados automotivos do mundo. Essas empresas não só dominam as vendas de VEs no país, como também estão construindo fábricas locais, o que permitirá a venda de carros livres de tarifas em toda a América Latina, via o MERCOSUL. Esse movimento é parte de uma estratégia mais ampla das empresas chinesas de investir e gerar empregos no exterior para contornar o protecionismo crescente. Com um mercado automobilístico na América Latina avaliado em quase US\$ 130 bilhões, o Brasil se destaca como um mercado crucial para o sucesso dessas montadoras chinesas. No entanto, desafios permanecem, como a necessidade de adquirir componentes localmente para evitar tarifas de importação e competir com as empresas automobilísticas já instaladas no país (FOLHA DE SP, 2024).

Desta forma, uma proposição desenvolvida, articulada como declaração de uma relação estabelecida, é a etapa 2 da roda de pesquisa. A proposição é baseada em um arcabouço teórico ou conceitual. O trabalho do pesquisador é explicar a conexão entre uma afirmação específica e o contexto mais amplo da teoria e do estudo prévio. Uma estrutura conceitual é uma versão simplificada de uma teoria que consiste em declarações que conectam conceitos abstratos a evidências reais. Teorias e quadros conceituais são criados para explicar ou caracterizar

ocorrências abstratas que ocorrem em circunstâncias semelhantes. Uma teoria é o jargão que nos permite pular de uma observação para outra e entender os paralelos e contrastes.

Figura 2: Roda de pesquisa (*research wheel*).



Fonte: Adaptado de (RUDESTAM; NEWTON, 2001, p. 5).

À medida que o pesquisador progride na roda de pesquisa, conforme a Figura 2, o raciocínio dedutivo é usado para passar do contexto mais amplo da teoria para uma única questão de pesquisa. A questão de pesquisa expressa a intenção dos pesquisadores em termos claros e pode ser complementada por uma ou mais hipóteses particulares. O pesquisador completa o primeiro ciclo tentando localizar ou coletar dados que ajudarão a responder à pergunta de pesquisa (RUDESTAM; NEWTON, 2001).

O processo de coleta de dados é essencialmente outra tarefa de observação empírica, que então dá início a uma nova rodada de pesquisa. As generalizações são desenvolvidas com base nos dados específicos observados (processo indutivo), e as generalizações estão vinculadas a uma estrutura conceitual, que leva à explicação de tópicos de pesquisa adicionais e implicações para pesquisas futuras.

Assim, o tema é a área de interesse da pesquisa uma definição genérica do que se pretende pesquisar – **a eletromobilidade no Brasil considerando o contexto local e global da discussão**. Segundo (MARCONI; LAKATOS, 2003, p. 126) significa a definição de um problema, ou seja, a definição do objetivo central do estudo. Portanto, o problema consiste em uma declaração explícita que é clara, fácil de entender e operar, cujo melhor modo de solução ou é uma pesquisa ou pode ser mais bem estudada por processos científicos. Uma pergunta de pesquisa, segundo (GRAZIOSI; LIEBANO; NAHAS, 2011) é uma declaração de uma pergunta específica que o pesquisador deseja responder para resolver o problema de pesquisa. A questão

de pesquisa orienta os tipos de dados a serem coletados e o tipo de pesquisa a ser conduzida. Assim, nossa pergunta de pesquisa é: **“Quais são os desafios e oportunidades para a eletromobilidade no Brasil considerando os contextos local e global da indústria automotiva na opinião de especialistas brasileiros da academia, governo e do setor privado?”**.

Pode-se aqui argumentar porque a opinião de especialistas no tema é importante e porque a segmentação entre academia, governo e setor privado deve ser levada em conta? Buscou-se profundidade no tema para identificar possíveis fatores considerados pelas opiniões de especialistas, aqui identificados pelos próprios respondentes (*snowball sampling*), a partir de um grupo de técnicos do governo federal envolvidos em programas para o setor de veículos – INOVAR AUTO e ROTA 2030. O perfil destes respondentes está relacionado no item 4.1.

A interação – universidade-indústria-governo – da Tríplice Hélice é fundamental, segundo (ETZKOWITZ; ZHOU, 2017), para a inovação em sociedades cada vez mais baseadas no conhecimento. Assim, motivados no movimento da inovação possibilitado pela Tríplice Hélice executamos um recorte dos respondentes entre: academia (universidade), setor privado (indústria) e governo.

Segundo (SELLTIZ; COOK; WRIGHTSMAN, 1987) apud (GIL, 2008), as pesquisas se classificam em três grupos: estudos exploratórios, estudos descritivos e estudos que verificam hipóteses causais, ou, estas, denominadas pesquisas explicativas. Uma pesquisa exploratória é uma metodologia que normalmente inclui: levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tenham experiência prática sobre o tema em estudo; e análise de exemplos que estimulem a compreensão. Conforme (GIL, 2008), as pesquisas exploratórias visam desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, a fim de formar problemas mais precisos ou hipóteses de pesquisa para estudos posteriores. De todos os tipos de pesquisa, esta é a menos rígida em termos de planejamento.

A hipótese é uma afirmação que introduz uma questão de pesquisa e propõe um resultado esperado. É parte integrante do método científico, que constitui a base dos experimentos científicos. Com efeito, o objetivo da pesquisa exploratória (também conhecida como pesquisa geradora de hipóteses) é encontrar potenciais correlações entre as variáveis. O pesquisador não possui suposições ou hipóteses prévias ao usar esse método (RICHARD SWEDBERG, 2020). Assim, identificamos este estudo como uma **PESQUISA EXPLORATÓRIA** e não possuímos hipóteses prévias.

1.3. Justificativa

A EM é um conceito que enfoca todos os problemas relacionados ao transporte com rodas (tecnológicos, de infraestrutura, de regulamentação e de modelos de negócio) realizado por veículos elétricos supridos com energia armazenada em baterias (JAWORSKI, 2018). Em essência, o conceito prevê o uso de veículos com motores elétricos, incluindo carros, *scooters*, motocicletas, bicicletas, patinetes, bondes, veículo leve sobre trilhos (VLT), trólebus, metrô, trens, ônibus ou caminhões, que se dividem em levíssimos, leves ou pesados (COP24, 2019). Deve-se acrescentar a esta lista: navios e barcos, que estão em uma era de renascimento e que também impactam na mobilidade humana (DESMONT, 2017). Recentemente, o interesse e o investimento em aeronaves elétricas de decolagem e pouso vertical (VTOL), comumente conhecidas como carros voadores, têm crescido significativamente (KASLIWAL *et al.*, 2019). Assim, a EM considera a aplicação e utilização de veículos propulsionados por um ou mais motores elétricos, que apresentam como principal fonte energética a eletricidade (BARASSA; CRUZ; MORAES, 2021).

A EM é vista por muitos como o cerne dos padrões de mobilidade futuros. Assim, os veículos elétricos (VEs), compreendem neste trabalho⁴: Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (PHEV), Veículos Elétricos Híbridos (HEV), Veículos Elétricos a Bateria (BEV) e Veículos a Célula de Combustível (FCEV), que possuem pelo menos um motor elétrico e oferecem uma contribuição potencialmente substancial para superar os problemas ambientais criados pela dependência generalizada de automóveis convencionais com motor à combustão interna (MCI) (HARRISON; THIEL, 2017).

(ORSATO *et al.*, 2012) apud (BERKELEY *et al.*, 2017) sugerem que uma “trajetória de eletrificação de carros está em andamento”, que é sustentada por uma combinação de alavancas, tais como: *drivers* de segurança ambiental e energética que criaram um cenário político favorável promovendo novas formas de automobildade; sério compromisso dos fabricantes, juntamente com os desenvolvimentos tecnológicos, por exemplo, no desempenho da bateria e na infraestrutura de carregamento; e uma paisagem social favorável caracterizada pelo desejo por conveniência, o uso predominante de tecnologias móveis e uma maior aceitação de veículos elétricos e híbridos entre uma ampla gama de usuários.

⁴ Mantivemos as siglas em inglês - BEV: *Battery Electric Vehicle*, ou Veículo Elétrico a Bateria; PHEV: *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*, ou Veículo Híbrido Plug-in; HEV: *Hybrid Electric Vehicle*, ou Veículo Elétrico Híbrido e FCEV: *Fuel Cell Electric Vehicle*, ou Veículo Elétrico a Célula de Combustível.

Em 2023, quase 14 milhões de novos VEs foram registrados globalmente, elevando o total para 40 milhões, em linha com a previsão do Global EV Outlook (IEA, 2024). As vendas aumentaram 3,5 milhões em relação a 2022, marcando um crescimento anual de 35% – mais de seis vezes superior ao de 2018. Com mais de 250.000 novos registros por semana em 2023, este número excede o total de registros anuais de 2013. Os VEs constituem 18% de todas as vendas de automóveis em 2023, acima dos 14% em 2022 e 2% em 2018, refletindo o forte crescimento à medida que o mercado amadurece. Os BEV representavam 70% do estoque de VEs em 2023 (IEA, 2024).

Em 2023, o Brasil teve o melhor ano para a EM, com as vendas de veículos leves eletrificados (PHEV, BEV e HEV) crescendo em todas as regiões do país. No total, foram emplacados 93.927 veículos leves eletrificados, superando todas as previsões e registrando um crescimento de 91% em relação a 2022, quando foram vendidos 49.245. Somente em dezembro, as vendas chegaram a 16.279, quase o triplo dos 5.587 de dezembro de 2022, representando um aumento de 191% (ANFAVEA, 2024).

Entretanto, os VE ainda representam em 2023 apenas uma pequena porcentagem de todas as vendas de veículos (4,3%, ANFAVEA, 2024), mas com um aumento constante e acentuado na adoção pelo consumidor. De acordo com dados da (ANFAVEA, 2024), entre janeiro e outubro de 2024, foram licenciados 138.579 VEs, HEVs e PHEVs, representando 6,92% dos 2.002.322 veículos licenciados no período, indicando que estamos cruzando o abismo de 5% da venda de novos veículos (BERKELEY *et al.*, 2017).

Esta parcela limitada também está presente nos EUA, bem como na China e no Japão (CANSINO; SÁNCHEZ-BRAZA; SANZ-DÍAZ, 2018). Some-se a isso que apesar dos esforços contínuos, o número de VEs em circulação continua baixo na União Europeia e os objetivos de expansão do mercado para esses veículos até 2030 ainda estão longe de serem cumpridos, e o cumprimento dos objetivos estratégicos definidos por vários governos para a adoção de VE continua a ser uma meta ainda distante (HIGUERAS-CASTILLO *et al.*, 2019; POLLÁK *et al.*, 2021).

A baixa penetração e as dificuldades da transição podem ser explicadas por uma série de diferentes fatores que dissuadem os compradores em potencial, o que foi revisado por (COFFMAN; BERNSTEIN; WEE, 2017) que agruparam esses fatores em internos, externos e mecanismos políticos. No primeiro grupo estão o preço de compra relativamente alto do VE, custos da bateria, autonomia limitada e requisitos de tempo de carga potencialmente longos,

que são os principais impedimentos para a adoção do VE. Em segundo lugar, os autores incluem preços relativos de combustível, características do consumidor, disponibilidade de estações de recarga e visibilidade pública e normas sociais. No último grupo são colocados incentivos financeiros e não financeiros, apoio à infraestrutura de carregamento e aumento da conscientização.

No entanto, durante os últimos anos, a produção, proliferação e uso de VEs colocaram desafios às práticas, tecnologias e economias de regimes de mobilidade automotiva dominados por combustíveis fósseis, particularmente em países com políticas corajosas de apoio à EM, como no caso da Noruega. Aliás, a estratégia de sucesso da Noruega é mais frequentemente entendida como um conjunto de políticas climáticas direcionadas, impulsionadas por incentivos financeiros e regulatórios nacionais para criar demanda de VE (SKJØLSVOLD; RYGHAUG, 2020).

Acadêmicos e formuladores de políticas nesta área da EM estão se esforçando para entender os principais padrões dinâmicos nos processos de transição da mobilidade elétrica, como os processos de adoção do VE - como um elemento central da inovação empresarial (ZOLFAGHARIAN *et al.*, 2021).

O Brasil apresenta uma estratégia particular, pois não tem enrijecido a rota tecnológica de motorização e tem definido metas cada vez mais restritas de emissões como se comprovava pelo Programa Rota 2030. Este programa foi desenhado em um cenário em que o setor automotivo global sinalizava mudanças profundas, seja nos veículos e como eles são usados ou como são fabricados. O Rota 2030 tinha como objetivo ampliar a inserção global da indústria automotiva brasileira, por meio da exportação de veículos e autopeças (BRASIL, 2020). Entretanto, o país em face aos seus desafios (renda per capita, distribuição de renda, crise fiscal, prioridades de políticas públicas etc.) se insere em um cenário de transição longa da EM. Este cenário mostra a forte dinâmica de coexistência de veículos MCI e HEV (com vantagem para MCI devido ao preço da maioria dos modelos de veículos) e a forte resiliência do MCI em relação aos VE (EPE, 2018a).

O recém-sancionado Programa de Mobilidade Verde e Inovação (Mover) (BRASIL/MDIC, 2024) reforça essa estratégia ao estimular investimentos em novas tecnologias e aumentar as exigências de descarbonização da frota automotiva brasileira, incluindo carros de passeio, ônibus e caminhões. Com um total de R\$ 19,3 bilhões em créditos financeiros previstos entre 2024 e 2028, o Mover promove a eficiência energética e prevê um

sistema de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) Verde, onde quem polui menos paga menos imposto. Desde o lançamento do Mover, já foram anunciados investimentos de R\$ 130 bilhões no setor automotivo, com 89 empresas habilitadas até o momento. Entre as próximas etapas do programa estão a regulamentação do IPI Verde e dos requisitos obrigatórios, além da criação do Fundo Nacional de Desenvolvimento Industrial e Tecnológico (FNDIT).

Devido a essas particularidades de como a EM se desenrola no país é necessário conhecer a opinião de especialistas no tema de forma a se estabelecer um *framework* para superar desafios e explorar oportunidades.

1.4. Objetivo geral e específico

O processo de transição para a EM é complexo e multifacetado, e entender seus padrões dinâmicos requer uma abordagem multidisciplinar que incorpore percepções de vários campos, como engenharia, economia, sociologia e ciência política. No entanto, alguns padrões dinâmicos importantes que valem a pena considerar incluem:

- a. Inovação e difusão tecnológica: A transição para a EM é impulsionada pela inovação tecnológica, e o ritmo de desenvolvimento e adoção tecnológica é um padrão dinâmico fundamental. Fatores como a disponibilidade de infraestrutura de carregamento, melhorias na tecnologia de baterias e políticas governamentais que promovem veículos VEs podem afetar a taxa de inovação e difusão.
- b. Adoção e comportamento do consumidor: Compreender a adoção e o comportamento do consumidor é fundamental para o processo de transição. Fatores como atitudes do consumidor em relação aos VEs, ansiedade de autonomia e disponibilidade de infraestrutura de carregamento podem afetar a taxa de adoção e uso de VEs.
- c. Dinâmica do mercado: A transição para a EM também envolve mudanças na dinâmica do mercado, como o surgimento de novos *players* na indústria automotiva, mudanças nas cadeias de suprimentos e o desenvolvimento de novos modelos de negócios. Essas mudanças podem ter impactos significativos na economia e na sociedade em geral.
- d. Estruturas políticas e regulatórias: As políticas governamentais e as estruturas regulatórias podem desempenhar um papel significativo na transição para a EM. Essas políticas podem assumir várias formas, como incentivos financeiros, regulamentos que determinam certos níveis de adoção de veículos elétricos ou

investimentos em infraestrutura de recarga. Compreender como essas políticas interagem com outros padrões dinâmicos é essencial para a formulação de políticas eficazes.

No geral, a transição para a EM é um processo complexo com muitos padrões dinâmicos inter-relacionados. Compreender esses padrões e como eles interagem, por meio de um *framework*, é fundamental para acadêmicos e formuladores de políticas que buscam acelerar a transição para um sistema de transporte mais sustentável.

Assim, o presente trabalho tem como motivação a busca de um objetivo geral: **quais são os desafios e oportunidades da EM no Brasil, analisados a partir da perspectiva de especialistas de empresas, universidades e governo, considerando a realidade local e global da cadeia automotiva?** Para responder a essa pergunta de pesquisa, serão perseguidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar os desafios tecnológicos e não tecnológicos para a adoção da EM, com base na literatura científica;
- Identificar lacunas de pesquisa e elementos direcionadores de políticas públicas na literatura científica;
- Levantar e analisar as principais opiniões de especialistas brasileiros em EM;
- Identificar fatores comuns de concordância ou discordância nas opiniões dos especialistas e explicar sua relação com os dados observados (LATTIN; CARROLL; GREEN, 2011);
- **Propor um framework que permita superar os desafios e explorar as oportunidades da EM no Brasil**, formulando recomendações de políticas públicas que considerem o estado da arte tecnológico, as políticas governamentais de incentivo e o arranjo produtivo do setor automobilístico brasileiro no contexto global.
- Assim, o presente trabalho tem como motivação a busca de um objetivo geral: **quais são os desafios e oportunidades da EM Eletromobilidade no Brasil analisado da perspectiva de especialistas de empresas, universidades e governo considerando a realidade local e global da cadeia automotiva?**

Os seguintes objetivos específicos irão viabilizar o objetivo geral:

- Caracterizar os desafios tecnológicos e não-tecnológicos para a adoção da EM na literatura científica;

- Identificar lacunas de pesquisa e elementos direcionadores de políticas públicas na literatura científica;
- Identificar as principais opiniões dos especialistas brasileiros em EM;
- Identificar os fatores comuns da concordância ou discordância dessas opiniões dadas pelos especialistas e explicar sua relação com os dados observados (LATTIN; CARROLL; GREEN, 2011);
- Propor recomendações de políticas para a transição levando em conta o estado da arte tecnológico atual, as políticas governamentais de incentivo e o arranjo produtivo do setor automobilístico brasileiro no contexto global.

1.5. Relevância e originalidade da Tese

Existem vários *frameworks* e modelos de referência que podem ser usados para entender e direcionar as políticas da EM em países emergentes. Algumas dessas estruturas incluem:

- a. O Cenário Global de Política para VE: Esta estrutura foi desenvolvida pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2022) e fornece uma visão geral das políticas relacionadas a VEs em diferentes países ao redor do mundo. Inclui informações sobre metas, incentivos, regulamentações e investimentos em infraestrutura.
- b. Iniciativa de Veículos Elétricos (EVI): A EVI (EVI, 2015) é uma iniciativa multilateral de alguns países que visa acelerar a adoção de veículos elétricos em todo o mundo. Sua estrutura fornece orientação sobre o desenho e implementação de políticas em áreas como padrões de veículos, incentivos, infraestrutura de carregamento e campanhas de conscientização pública.
- c. Transporte Sustentável em Cidades Emergentes (STEER): Esta estrutura foi desenvolvida pelo *World Resources Institute* (WRI) e fornece orientação sobre políticas de transporte sustentável em cidades emergentes. Inclui informações sobre a formulação e implementação de políticas em áreas como transporte público, transporte não motorizado e veículos não poluentes (KUSTAR; WELLE; TUN, 2022).
- d. Iniciativa EV100 do *The Climate Group*: Esta iniciativa (CLIMATE GROUP, 2022) reúne empresas comprometidas com a transição de suas frotas para VEs.

Sua estrutura fornece orientação sobre o desenho e implementação de políticas em áreas como infraestrutura de recarga, incentivos e eletrificação de frotas.

No geral, embora não exista uma estrutura única para direcionar as políticas de EM nos países emergentes, esses modelos podem fornecer orientação e *insights* sobre como desenvolver políticas e estratégias eficazes para promover o transporte sustentável. Assim, é importante identificar as características do modelo brasileiro que possa contribuir com as políticas de EM no país e orientar as políticas dos países emergentes.

Segundo (ECO, 2016) um estudo é científico quando responde aos seguintes requisitos:

- a. O estudo debruça-se sobre um objeto reconhecível e definido de tal maneira que seja reconhecível igualmente pelos outros? Este trabalho se debruça sobre as oportunidades e desafios da EM no Brasil por meio da análise de método misto, qualitativo e quantitativo, utilizando a metodologia Q associada a *Grounded Theory*⁵ utilizando as opiniões de especialistas brasileiros no tema.
- b. O estudo diz do objeto algo que ainda não foi dito ou revê sob a óptica diferente o que já se disse? Os resultados deste trabalho buscam focar a perspectiva da EM sob uma óptica dos especialistas sobre o tema buscando validar fatores importantes. Alguns trabalhos sobre EM (BARASSA; CRUZ; MORAES, 2021; CONSONI *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020) já foram realizados neste tema e são explorados no segundo capítulo deste trabalho, mas aqui se inaugura o uso da metodologia Q e o uso da *Grounded Theory* (GT) para validar seus resultados da EM no Brasil.
- c. O estudo é útil aos demais? Espera-se que este trabalho possa ser utilizado por pesquisadores e agentes públicos no entendimento ou definição de políticas públicas para a transição à EM, pois esta certeza não é clara, havendo controvérsias nas visões de como se posicionar em relação à mobilidade elétrica.
- d. O estudo fornece elementos para a verificação e a contestação das hipóteses apresentadas e, portanto, para continuidade pública? Esse é um estudo exploratório onde não há hipóteses prévias estabelecidas.

⁵ Como estabelecido em (TAROZZI, 2011) não traduzimos o termo “*Grounded Theory*” para Teoria Fundamentada em Dados (TFD).

1.6. Estrutura da Tese

Este trabalho está estruturado em sete capítulos. O primeiro capítulo (Introdução) procura qualificar essa tese em seu tema, problema e pergunta de pesquisa, ausência de hipóteses, justificativas, definir seus objetivos geral e específico, qualificar a relevância e originalidade do trabalho e esclarecer ao leitor sua estrutura.

O segundo capítulo (Revisão da Literatura) faz uma revisão do estado da arte sobre o tema da EM no Brasil e no mundo, e, revela as principais conclusões que os autores chegaram. O recorte e limite deste capítulo foram estabelecidos buscando situar o leitor sobre o histórico recente que o tema apresentou no mundo, bem como rever a literatura científica e a *gray literature*⁶, ou seja, relatórios e trabalhos que não passaram por uma revisão de pares.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia da pesquisa e os instrumentos utilizados para atingir os objetivos inicialmente propostos. Temos a combinação de duas metodologias que foram utilizadas neste trabalho: a metodologia Q e a GT. Busca-se aqui definir e explicar os métodos que revelaram quali e quantitativamente os sete fatores pela metodologia Q e as seis categorias reveladas pela GT.

O quarto capítulo, de Resultados, são apresentados os principais dados (fatores e categorias) produzidos pela pesquisa realizada que foram comparados com os achados da literatura científica. Pretende-se clarificar as inter-relações das codificações que revelaram os fatores e categorias. Neste capítulo, se argumenta sobre os resultados encontrados buscando construir uma *core category*, ou seja, uma categoria central para a tese apresentada. Aqui as relações encontradas entre os fatores e categorias e seu embasamento com a literatura científica sintetizam esta *core category*.

No quinto capítulo executa-se as recomendações para uma Estratégia Nacional para a Eletromobidade, que pode diminuir o abismo da transição elétrica.

No sexto capítulo de Discussões, analisa-se os diversos elementos que impactam a implementação da EM no Brasil. Destaca-se o papel crucial das políticas governamentais na abordagem das lacunas existentes, a necessidade de capacitar a mão de obra, os avanços tecnológicos nos VEs, o custo associado aos VEs, a mobilidade urbana em sua totalidade, o

⁶ É um tipo de informação ou resultados da investigação produzida pelas organizações (departamentos e agências governamentais, da sociedade civil, organizações não governamentais, empresas privadas e consultores), fora dos canais de publicação e distribuição comerciais ou acadêmicos.

desenvolvimento da infraestrutura e os benefícios ambientais provenientes da redução das emissões de carbono.

No sétimo capítulo apresenta-se as conclusões deste trabalho atendendo as premissas inicialmente estabelecidas na introdução. Indica-se, também, as limitações deste trabalho, bem como se faz sugestões de possíveis trabalhos futuros para o preenchimento das lacunas aqui deixadas. Ao considerar esses fatores, o Brasil tem a oportunidade de acelerar a adoção da EM, estimular o crescimento econômico e contribuir para um setor de transporte sustentável e com menor impacto ambiental.

Esta tese de doutorado foi desenvolvida em 2022. Desde então, o cenário da EM no Brasil e no mundo tem evoluído rapidamente, com novas políticas, avanços tecnológicos e mudanças no mercado emergindo constantemente. Portanto, é fundamental que o leitor tenha em mente que, embora o conteúdo tenha sido atualizado até a data da defesa, algumas informações e análises podem ter sido impactadas por desenvolvimentos subsequentes. Ao explorar os desafios e oportunidades discutidos nesta tese, recomendamos considerar o contexto dinâmico e em constante transformação da EM, que continuará a moldar o futuro desse setor estratégico.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Introdução

Vimos no capítulo anterior que na roda de pesquisa (*research wheel*) após a fase de proposição de uma questão de pesquisa, o trabalho do pesquisador é explicar a conexão entre uma afirmação específica e o contexto mais amplo da teoria e do estudo prévio. Assim, este capítulo tem o objetivo de ampliar o contexto por meio da literatura científica.

Já os estudos prévios conhecidos como literatura cinza (*gray literature*) foram considerados achados da fase de pesquisa e incluídos no capítulo 4 de resultados. Esta literatura é identificada como a informação produzida por todos os níveis de governo, acadêmicos, negócios e indústria em formatos eletrônicos e impressos não controlados pela publicação comercial e é importante que ela seja incluída neste trabalho (PAEZ, 2017).

A pretensão neste capítulo é verificar os obstáculos à intersectorialidade na implementação e na gestão de políticas públicas no caso específico da EM no contexto mais amplo da literatura científica. Assim, iniciamos com as motivações da adoção da EM, ou seja, da mudança climática e os GEE, bem como as particularidades das matrizes energética e elétrica brasileira, que são distintas de outros países. Em seguida, aborda-se os incentivos fiscais que são quase “mantras” pronunciados pelo setor industrial para uma transição energética.

Executou-se uma revisão da literatura de fatores que podem influenciar a EM no Brasil, como o desenvolvimento tecnológico, a questão dos biocombustíveis, a sustentabilidade da transição elétrica, os levíssimos e as soluções de última milha, a questão da mobilidade urbana sistêmica e a saúde e por fim as questões de infraestrutura necessária para a EM. O objetivo é buscar obstáculos ou oportunidades na implementação de políticas públicas, buscando convergências de visões possíveis dos atores, ou seja, quais são os insumos do estado da arte que respondem à questão do problema de pesquisa.

2.2. Mudança climática e gases de efeito estufa

A mudança climática refere-se a mudanças de longo prazo nas temperaturas e nos padrões climáticos. Essas mudanças podem ser naturais, como por meio de variações no ciclo solar. Mas desde 1800, as atividades humanas têm sido o principal motor da mudança climática, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás. Exemplos de emissões de GEE que estão causando mudanças climáticas incluem dióxido de carbono (CO₂) e metano (UN, 2019).

Assim, a concentração de CO₂ atmosférico vem aumentando devido às atividades humanas, como mudança de uso da terra de desmatamento e a queima de combustíveis fósseis. Embora haja um amplo consenso científico sobre as consequências nefastas da mudança no clima associada à crescentes concentrações de GEE, as emissões de CO₂ continuam a aumentar nos últimos anos, principalmente nas economias em rápido desenvolvimento (BOESCH *et al.*, 2020). O relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) conclui que evitar os efeitos catastróficos das mudanças climáticas exigirá modificações rápidas e abrangentes em todas as facetas da sociedade, muitas das quais relacionadas à forma como produzimos e consumimos energia (BOUDET, 2019).

As cidades necessitam enfrentar as mudanças climáticas, pois mais da metade da população mundial é urbana e as cidades emitem 75% de todo o dióxido de carbono do uso de energia. As cidades também estão cada vez mais sentindo os efeitos do clima extremo (BAI *et al.*, 2018). A intensidade e frequência crescentes desses efeitos de clima extremo são resultado das mudanças climáticas que representam um amplo espectro de riscos em evolução para as sociedades em todo o mundo (CLARKE; E. L. OTTO; JONES, 2021). Os eventos climáticos e meteorológicos extremos, geralmente, são classificados como de origem hidrológica (inundações bruscas e graduais, alagamentos, enchentes, deslizamentos); geológicos ou geofísicos (processos erosivos, de movimentação de massa e deslizamentos resultantes de processos geológicos ou fenômenos geofísicos); meteorológicos (raios, ciclones tropicais e extratropicais, tornados e vendavais); e climatológicos (estiagem e seca, queimadas e incêndios florestais, chuvas de granizo, geadas e ondas de frio e de calor) (FIOCRUZ, 2022).

Destacam-se entre os emissores os veículos que funcionam principalmente com MCI e, a indústria de transporte é responsável por 25% a 30% da emissão total de GEE (BADIN *et al.*, 2006). Estes veículos atuam no processo de queima de combustíveis resultando na produção de diversos gases como CO₂, NO₂, NO e CO que causam degradação ambiental na forma de efeito estufa e são responsáveis por seus efeitos adversos na saúde humana (SINGH, K. V.; BANSAL; SINGH, 2019).

Segundo dados da (IEA, 2020a), o setor de transportes é responsável por 24% das emissões diretas de CO₂ da queima de combustíveis. As emissões do transporte global aumentaram menos de 0,5% em 2019, em comparação com 1,9% ao ano desde 2000, devido a melhorias de eficiência, eletrificação e maior uso de biocombustíveis. Entretanto, os veículos rodoviários - carros, caminhões, ônibus e veículos de duas e três rodas - são responsáveis por quase três quartos das emissões de CO₂ dos transportes, e as emissões da aviação e do transporte

marítimo continuam a aumentar, destacando a necessidade de um maior enfoque da política internacional nesses subsetores.

VEs não têm emissões de escapamento, entretanto, gerar a eletricidade usada para carregá-los pode criar poluição por emissão de GEE. A quantidade varia amplamente com base em como a energia local é gerada, por exemplo, usando carvão ou gás natural, que emitem poluição por carbono, versus recursos renováveis como eólico ou solar, que não o fazem. Mesmo contabilizando essas emissões de eletricidade, pesquisas, conforme (EPA, 2022), mostram que um VE é normalmente responsável por níveis mais baixos de GEE do que um carro, médio e novo, a gasolina devido à sua eficiência maior, especialmente quando se considera a eficiência do poço-à-roda ou "*Well-to-Wheel*" (WTW). Enquanto os MCIs apresentam uma eficiência WTW que varia entre 11% e 27%, e veículos a diesel alcançam entre 25% e 37%, os VEs alimentados por fontes renováveis podem atingir uma eficiência WTW de 40% a 70%, dependendo da localização e da fonte de energia. Mesmo quando abastecidos por usinas de gás natural, carvão ou diesel, os VEs ainda podem alcançar eficiências competitivas, situando-se entre 12% e 31% (ALBATAYNEH *et al.*, 2020). Isso demonstra que, embora a eficiência dependa significativamente da matriz energética, os VEs oferecem um potencial superior para otimização energética e redução de emissões em comparação com veículos convencionais. Mesmo contabilizando essas emissões de eletricidade, pesquisas, conforme (EPA, 2022), mostram que um VE é normalmente responsável por níveis mais baixos de GEE do que um carro, médio e novo, a gasolina. Na medida em que mais fontes de energia renováveis, como eólica e solar, são usadas para gerar eletricidade, o total de GEE associados aos VE pode ser ainda menor.

Durante a pandemia da COVID-19, causada pelo vírus SARS-Cov-2, (BERMAN; EBISU, 2020) relataram um declínio estatisticamente significativo de NO₂, nos EUA, em comparação com os dados históricos, principalmente em condados americanos urbanos e condados de estados que instituíram o fechamento antecipado de negócios não essenciais. Os resultados gerais na redução dos índices de CO também indicaram que a redução da mobilidade externa desnecessária pode ajudar a manter a qualidade do ar no mundo pós-pandemia (BARUA; NATH, 2021). Esses resultados apontam para oportunidades na redução da poluição aérea em um mundo pós-pandemia. Para o ecossistema VE, em particular, resta saber se será capaz de capitalizar as oportunidades fornecidas pela desafortunada interrupção gerada pela pandemia (ARRIBAS-IBAR; NYLUND; BREM, 2021).

Assim, os formuladores de políticas em regiões ao redor do mundo estão sob pressão crescente para descarbonizar ruas e melhorar a qualidade do ar urbano. O apoio do governo para veículos de baixa emissão claramente precisa abordar as barreiras financeiras se a participação no mercado de veículos híbridos e elétricos quiser sair do nicho de mercado (PALMER *et al.*, 2018).

Com efeito, vários países desenvolvidos estão adotando medidas para a transição para a EM, ou o uso de VEs como alternativa aos MCIs tradicionais. Aqui estão alguns exemplos de como eles estão lidando com a transição:

- a. Noruega: A Noruega tem sido líder na transição para a EM, com os VEs respondendo por mais da metade de todas as vendas de carros novos no país em 2020. Isso se deve a uma combinação de fatores, incluindo incentivos governamentais, como isenções fiscais, rodovias com isenções de pedágio e cobrança gratuita para VEs. Além disso, o país investiu na construção de uma rede de estações de recarga em todo o país para dar suporte aos motoristas de VEs (RYGHAUG; SKJØLSVOLD, 2019).
- b. Alemanha: A Alemanha estabeleceu metas de aumentar os VEs na estrada e implementou uma série de medidas. Isso inclui incentivos fiscais para compras de VE, investimento em infraestrutura de carregamento e pesquisa e desenvolvimento de tecnologia de bateria (ALTENBURG; SCHAMP; CHAUDHARY, 2016). A Comissão Europeia propôs uma redução de 100% nas emissões de CO₂ de carros novos até 2035, mas que foi rejeitada pelo governo alemão (EURONEWS, 2022).
- c. Estados Unidos: Os Estados Unidos implementaram uma série de incentivos para promover a adoção de VEs, incluindo créditos fiscais para compras de VEs e investimento em infraestrutura de recarga. Além disso, vários estados estabeleceram metas para a transição para veículos elétricos, com a Califórnia planejando proibir a venda de carros novos a gasolina até 2035 (PLÖTZ *et al.*, 2019).

No geral, esses países estão adotando uma série de abordagens para apoiar a transição para a EM, incluindo incentivos financeiros, investimento em infraestrutura e medidas regulatórias.

2.3. Matrizes energética, elétrica e estratégia nacional

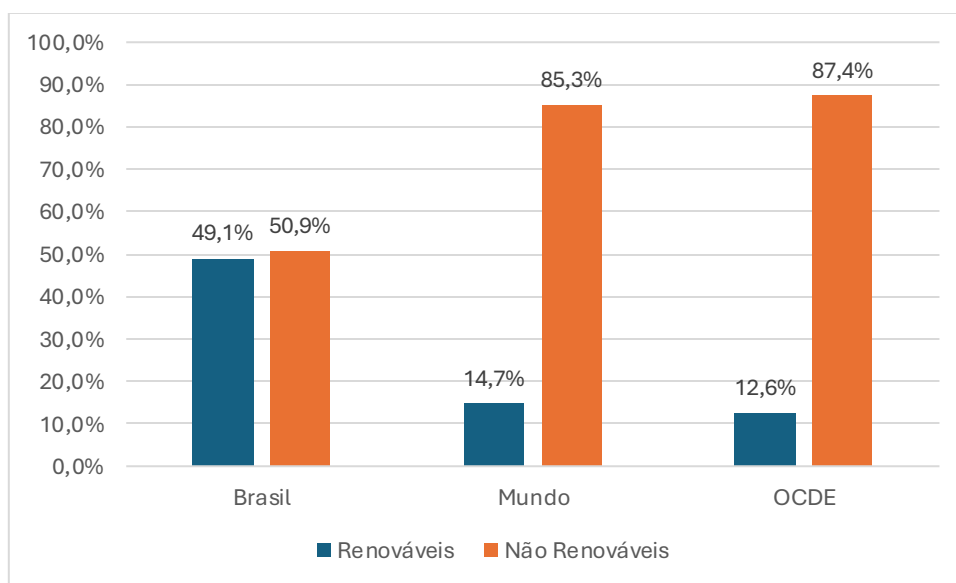
A **matriz energética** representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os carros, preparar a comida e gerar eletricidade, já a **matriz elétrica** é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica (DE ANDRADE

GUERRA *et al.*, 2015). Assim, a matriz elétrica é parte da matriz energética. Isso é interessante, pois os VE deixam de ser contabilizados na matriz energética e passam para a conta da matriz elétrica.

O mundo possui uma matriz energética composta, principalmente, por fontes não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural. As fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica, por exemplo, correspondem juntas a apenas 2,5% da matriz energética mundial. Somando-se à participação da energia hidráulica e da biomassa, as renováveis totalizam aproximadamente 15% (EPE, 2022).

As fontes renováveis representam 84,25% da oferta interna de eletricidade no Brasil (BRASIL/ANEEL, 2024), que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável. Já a participação de renováveis na matriz energética (Oferta Interna de Energia) é de 49,1 % (2023), um percentual alto se comparado com o Mundo (14,7%, 2021), conforme Figura 3, e, os países da OCDE (12,6%, 2022) (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2024). O benefício ambiental dos VE é significativo apenas se seu consumo adicional de eletricidade for coberto pela produção de energia a partir de fontes de energia renováveis (LUCA DE TENA; PREGGER, 2018) . Essa característica da matriz brasileira é muito importante, pois as fontes não renováveis de energia são as maiores responsáveis pela emissão de GEE.

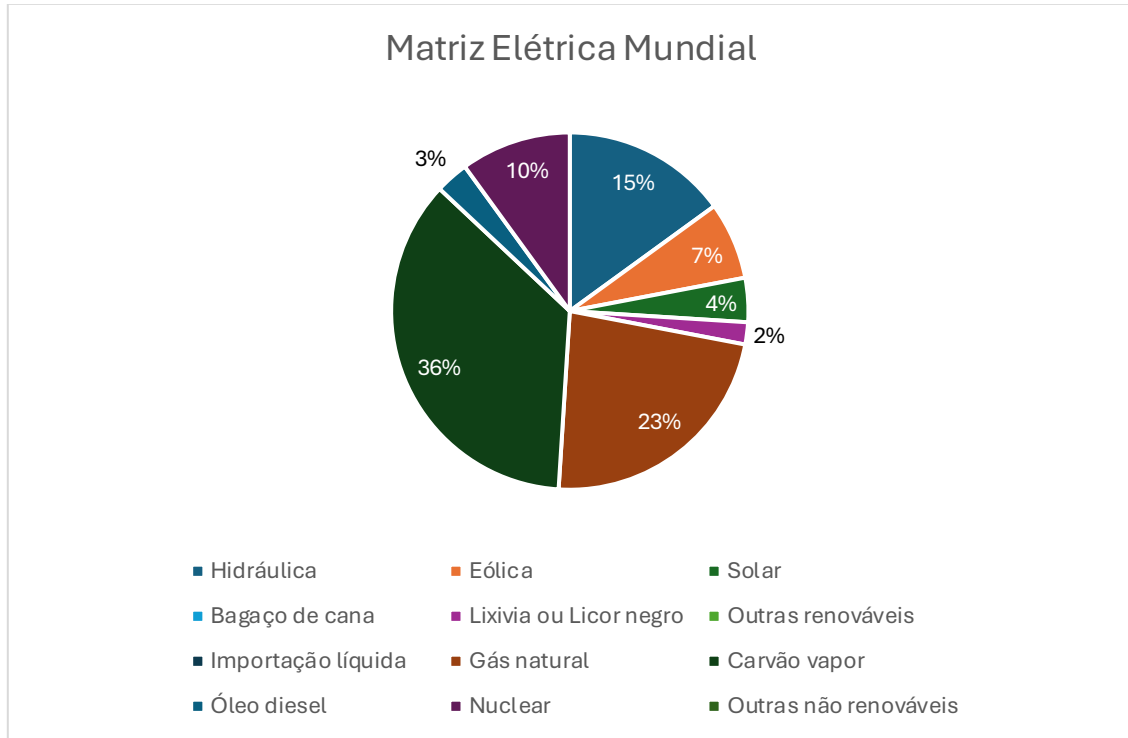
Figura 3: Consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil em 2023, OCDE 2022 e Mundo 2021.



Fonte: Adaptado de (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2024).

O mundo possui uma matriz elétrica, formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica em um país, composta majoritariamente por fontes não renováveis, como carvão, petróleo e gás natural, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4: Matriz Elétrica Mundial 2021.⁷



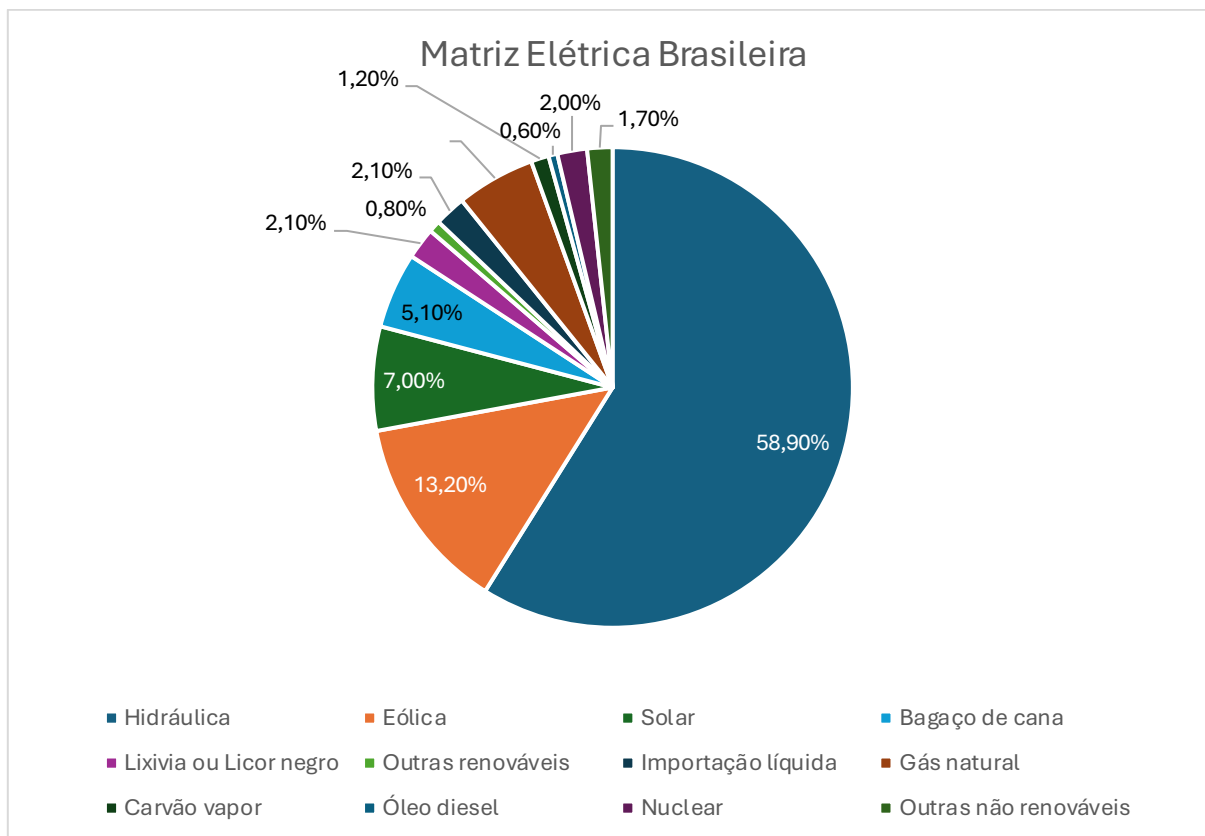
Fonte: Adaptado de (SANTOS; DAL FORNO, 2024).

As fontes renováveis como solar, eólica e biomassa, por exemplo, juntas figuram apenas 13 % da matriz elétrica global. Juntamente com a participação das fontes hidráulica e de biomassa, as energias renováveis representam 28 %.

Já a matriz elétrica do Brasil é muito diferente da do mundo conforme a Figura 5. Aqui, embora o consumo de energia de fontes não renováveis seja maior do que de fontes renováveis, usamos mais fontes renováveis do que no resto do mundo. Somando lenha e hulha (carvão vegetal), hidráulica, derivados de cana de açúcar e outras fontes de energia renovável, nosso total de fontes de energia renovável chega a 49,1 %, quase metade de nossa matriz energética.

Figura 5: Matriz Elétrica Brasileira 2023.

⁷ Para fins de comparação com a matriz elétrica brasileira, onde leia-se lixívia e licor negro, refere-se a biomassa e onde lê-se óleo diesel refere-se a petróleo e seus derivados.



Fonte: Adaptado de (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2024).

Em 2023, a oferta interna de energia elétrica no Brasil cresceu 33,2 TWh, um aumento de 4,8% em relação a 2022. A matriz elétrica nacional continua majoritariamente renovável, com 89,2% de participação. A geração solar fotovoltaica destacou-se atingindo 50,6 TWh e uma capacidade instalada de 37.843 MW, uma expansão de 54,8% em relação a 2022. A geração eólica também apresentou crescimento significativo, alcançando 95,8 TWh (+17,4%) e uma capacidade instalada de 28.682 MW (+20,7%). A geração hidrelétrica manteve-se estável, com uma leve redução de 0,3%, enquanto a geração termelétrica registrou queda de 1,9% (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2024).

O Brasil se destaca como uma potência global em recursos energéticos e minerais, oferecendo uma matriz energética diversificada e predominantemente renovável. Com a maior disponibilidade hídrica do mundo, o país é o segundo maior produtor de energia hidrelétrica, posicionando-se como líder no uso sustentável de recursos hídricos. Além disso, a energia eólica e solar apresenta um crescimento acelerado, impulsionado pelo vasto potencial *onshore* e *offshore* e pela excelente irradiação solar em todo o território. A bioenergia, liderada pelo etanol de cana-de-açúcar e o biodiesel, consolida o Brasil como um dos maiores produtores de biocombustíveis, com um potencial significativo para expandir a produção de biogás e

biometano, fortalecendo ainda mais a posição do país no cenário energético global (BRASIL EPE, 2025).

No setor de petróleo e gás, o Brasil ocupa a oitava posição entre os maiores produtores de petróleo, com o desenvolvimento do pré-sal como um fator crucial para seu crescimento, ao mesmo tempo que busca se posicionar como líder global em sustentabilidade. No entanto, o país enfrenta uma posição ambígua ao equilibrar os esforços para explorar suas vastas reservas de petróleo e gás com os compromissos de reduzir emissões de carbono e promover uma transição energética mais limpa, destacando os desafios de alinhar sua liderança em recursos fósseis com suas metas ambientais.

A indústria mineral também é um ponto forte, com o país sendo um dos principais exportadores de minerais metálicos como ferro, cobre, ouro, alumínio e nióbio. Com reservas significativas de urânio, terras raras e níquel, o Brasil mantém uma posição estratégica no mercado global de *commodities* minerais. Esta riqueza de recursos, aliada a uma matriz energética diversificada e um Sistema Interligado Nacional robusto, proporciona ao Brasil uma base sólida para enfrentar desafios futuros, assegurando uma transição energética sustentável e resiliente frente às mudanças climáticas.

Em dezembro de 2015, o Acordo de Paris – um novo acordo global para combater as mudanças climáticas – foi adotado sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). Na preparação deste acordo, os países apresentaram planos nacionais que explicitam suas intenções para enfrentar o desafio das mudanças climáticas após 2020. Assim, metas e ações para reduzir as emissões de GEE são componentes centrais para logarmos esses objetivos acordados (ROGELJ *et al.*, 2016).

Desta forma, (LIMA *et al.*, 2020) revisam a expansão do uso de fontes renováveis de energia para atender às metas voluntárias das Contribuições Pretendidas Nacionalmente Determinadas (INDC), estipuladas por cada país e submetidas à Convenção-Quadro das Nações Unidas com o objetivo de reduzirem suas emissões de GEE, dada a vulnerabilidade futura da matriz elétrica brasileira. Os autores relatam que a geração de energia elétrica no Brasil é eminentemente de origem hídrica. No entanto, mudanças recentes no ciclo hidrológico têm comprometido sua capacidade de geração hidrelétrica. O Instituto Nacional de Meteorologia corrobora que a matriz de geração de eletricidade brasileira tornou-se vulnerável às mudanças climáticas, visto a recente crise hídrica (INMET, 2021). Assim, é necessário ampliar e

diversificar o uso de fontes renováveis de energia. O potencial de geração de energia elétrica no Brasil por eólica, solar e cogeração (biomassa) é imenso, podendo ser maximizado se as políticas governamentais forem adequadas às demandas de cada setor específico.

O fenômeno da geração distribuída (GD)⁸ no Brasil, particularmente com a crescente adoção da energia fotovoltaica, está promovendo uma transformação significativa na matriz energética nacional, mas também apresenta desafios para o sistema integrado de energia, especialmente no que diz respeito à reserva de capacidade para períodos de pico. A energia fotovoltaica tem sido destacada como uma alternativa essencial na transição de fontes não renováveis para renováveis (CUENCA; JAMIL; HAYES, 2021; GARLET *et al.*, 2019), e a regulação estatal, por meio de normativas como a Resolução Normativa nº 482 de 2012 da ANEEL, tem sido crucial para incentivar a GD e permitir que consumidores gerem energia para seu próprio consumo, devolvendo excedentes à rede por meio do sistema de *net-metering*⁹ (ANDRADE *et al.*, 2020). Entretanto, apesar das vantagens como eficiência e flexibilidade (NADEEM *et al.*, 2023), a intermitência da geração solar e a falta de políticas robustas para garantir a disponibilidade de energia em horários de alta demanda comprometem a estabilidade do sistema elétrico. Esse problema se agrava devido à infraestrutura de rede insuficiente, que ainda não está totalmente preparada para lidar com o crescimento acelerado da GD (FALCONE, 2023). Para garantir a segurança energética, são necessárias atualizações na infraestrutura de transmissão e distribuição, bem como estratégias integradas que considerem o equilíbrio entre os benefícios ambientais e as limitações técnicas e econômicas da GD, reforçando a importância de políticas públicas que promovam uma transição energética justa e sustentável.

Os EUA por sua vez estão propondo, na gestão Biden, um novo plano de estímulos econômicos (*The American Jobs Plan*) de US \$2 trilhões, lançado em 31 de março de 2021, com foco em infraestrutura, economia da saúde, clima e, como o nome indica, criação de empregos. Assim, o estímulo favorável ao clima tem o potencial de não apenas estimular o crescimento do emprego, mas também de criar oportunidades de emprego de qualidade em uma força de trabalho bem paga e em locais de trabalho seguros, saudáveis e equitativos (JAEGER *et al.*, 2021). Isso reforça que políticas industriais estão de volta novamente por meio de intervenções governamentais que buscam a reindustrialização dos países por meio do

⁸ Geração distribuída (GD) refere-se a um modelo de produção de energia elétrica caracterizado pela instalação de geradores de pequeno porte próximos aos locais de consumo, reduzindo a necessidade de longas linhas de transmissão e promovendo maior eficiência energética.

⁹ O sistema de *net-metering*, também conhecido como Sistema de Compensação de Energia Elétrica, é um método que permite que o consumidor de energia elétrica obtenha créditos por injetar excedentes de energia na rede.

reshoring. O *reshoring* é realizado por empresas multinacionais que repatriam atividades produtivas realizadas por afiliadas estrangeiras ou apenas por empresas que trocam fornecedores domésticos por insumos no lugar de fornecedores internacionais (STRANGE, 2020).

Essa política foi proposta, pois a participação no mercado norte-americano de vendas de PHEV é de apenas um terço do mercado chinês de VE. A administração Biden está propondo um investimento de US \$ 174 bilhões para ganhar, assim, o mercado de VE. Assim, este plano permitirá que os fabricantes de automóveis estimulem as cadeias de abastecimento domésticas de matérias-primas a peças, reequipem fábricas para competir globalmente e apoiem os trabalhadores americanos na fabricação de baterias e veículos elétricos. Isso dará aos consumidores descontos no ponto de venda e incentivos fiscais para comprar VE de fabricação americana, ao mesmo tempo que garante que esses veículos sejam acessíveis para todas as famílias e fabricados por trabalhadores com bons empregos. O plano prevê programas de subsídios e incentivos para governos estaduais e locais e para o setor privado para construir uma rede nacional de 500.000 carregadores de VE até 2030. Haverá a substituição de 50.000 veículos de trânsito a diesel e eletrificação pelo menos 20% da frota de ônibus escolares amarelos por meio de um novo programa de Ônibus Limpos para crianças da Agência de Proteção Ambiental (EPA). Esses investimentos ainda utilizarão as ferramentas de compras federais para eletrificar a frota federal, incluindo o Serviço Postal dos Estados Unidos (WHITE HOUSE, 2021).

Entretanto, não existe uma abordagem única para lidar com a mudança climática, e diferentes países estão implementando uma série de estratégias para reduzir suas pegadas de carbono e fazer a transição para sistemas de energia mais sustentáveis. Seguem alguns exemplos de como alguns países estão lidando com as mudanças climáticas e suas matrizes energéticas:

- a. Alemanha: A Alemanha fez progressos significativos na redução de suas emissões de gases de efeito estufa e no aumento do uso de fontes de energia renováveis. O país estabeleceu uma meta de atingir emissões líquidas zero até 2045 e já reduziu suas emissões em mais de 35% desde 1990. A Alemanha também está investindo pesadamente em energia eólica e solar e estabeleceu uma meta de gerar 80% da sua eletricidade a partir de fontes renováveis até 2050 (IEA, 2020b).
- b. China: A China é o maior emissor mundial de GEE, mas o país também se tornou líder em energia renovável. A China estabeleceu uma meta de atingir o pico de emissões de carbono até 2030 e se tornar neutra em carbono até 2060. Para atingir essas metas, o

país está investindo pesadamente em energia eólica e solar, bem como em energia nuclear e tecnologias de captura e armazenamento de carbono (WANG, K. H. *et al.*, 2021). Com mais de 3,3 milhões de veículos elétricos vendidos em 2021, a China possui quase metade da frota global de VEs, tornando-se o maior mercado em termos absolutos, seguida pelos Estados Unidos (WOLFFENBÜTTEL, 2022).

- c. Dinamarca: A Dinamarca é líder em energia eólica e estabeleceu uma meta de atingir 100% de energia renovável até 2050. O país também está implementando uma série de outras medidas para reduzir sua pegada de carbono, incluindo promover a eficiência energética, eletrificar o transporte e reduzir desperdício de comida (WANG, J. *et al.*, 2017).
- d. Costa Rica: A Costa Rica é um pequeno país da América Central que fez progressos impressionantes na redução de sua pegada de carbono. O país já gera mais de 99% de sua eletricidade a partir de fontes renováveis e estabeleceu uma meta de se tornar neutro em carbono até 2050. A Costa Rica também está implementando uma série de medidas para reduzir o desmatamento, promover a agricultura sustentável e proteger a biodiversidade (SASSE, 2022).
- e. Estados Unidos: Os Estados Unidos são o segundo maior emissor mundial de GEE, mas também vêm tomando medidas para reduzir sua pegada de carbono. Sob o governo Biden, os EUA voltaram ao Acordo Climático de Paris e estabeleceram uma meta de atingir emissões líquidas zero até 2050. Entretanto, a eleição do ex-presidente Trump para mais um mandato de 4 anos (2025-2028) pode comprometer essas metas estabelecidas. O país está investindo em energia renovável, veículos elétricos e tecnologias de captura de carbono, e também está implementando políticas para promover eficiência energética e reduzir as emissões dos setores agrícola e industrial (BODANSKY, 2021).

Esses são apenas alguns exemplos de como países ao redor do mundo estão lidando com as mudanças climáticas e suas matrizes energéticas. Muitos outros países também estão implementando uma série de medidas para reduzir suas pegadas de carbono e fazer a transição para sistemas de energia mais sustentáveis.

As políticas governamentais no Brasil, especialmente no contexto da EM, foram historicamente caracterizadas por uma falta de clareza e direcionamento estratégico para a promoção de veículos elétricos (VEs). Segundo (CONSONI *et al.*, 2018), esse cenário refletia uma insuficiência de uma situação-problema bem definida, ou seja, faltava um fator contextual

capaz de impulsionar e orientar ações concretas no setor. Além disso, a desarticulação entre os principais atores envolvidos — governo, setor privado e academia — limitava a coordenação necessária para desenvolver a EM no país (COSTA *et al.*, 2020; VARGAS *et al.*, 2020; VELHO *et al.*, 2019).

No entanto, sob o governo Lula III (2023-2026), essa trajetória está sendo reavaliada. A Nova Indústria Brasil (NIB), uma política industrial estratégica, foi lançada em 2024 com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável até 2033, com foco na sustentabilidade ambiental, na inovação tecnológica e no fortalecimento da indústria nacional. A NIB pretende integrar a cadeia produtiva da EM, incentivar a fabricação local de componentes críticos e fomentar a pesquisa e o desenvolvimento (P&D) em tecnologias limpas, preparando o Brasil para competir globalmente no setor de VEs.

2.4. Incentivos fiscais

(CANSINO; SÁNCHEZ-BRAZA; SANZ-DÍAZ, 2018) realizaram uma análise aprofundada e abrangente das medidas relevantes adotadas pelos países da Comunidade Europeia para a adoção dos VEs. Os autores concluem que os instrumentos de política mais importantes para promover VEs são as medidas fiscais e de infraestrutura, além de incentivos financeiros para comprar e apoiar projetos de P&D.

Segundo os autores, independentemente da escassez de dados de registro de VE, as informações disponíveis permitiram concluir que os níveis de penetração de VE mais elevados aparecem em países onde o imposto de registro, o imposto de propriedade ou ambos os impostos, desenvolveram um imposto verde parcial incluindo as emissões de CO₂ no cálculo da fatura final. O imposto de registro, cobrado em alguns países europeus e, não no Brasil, visa a cobrança do poder aquisitivo demonstrado na aquisição e seu valor depende do valor do veículo e das especificações técnicas.

(BENVENUTTI; RIBEIRO; URIONA, 2017) investigaram o possível impacto das políticas governamentais na difusão de longo prazo de veículos com combustível alternativo (AFV), como PHEV e HEV, no Brasil, utilizando sistemas dinâmicos por meio do modelo de Difusão de Frank Bass. Este floresce de uma hipótese comportamental na qual se assume que, durante o processo de difusão do uso de um novo produto, dois tipos de consumidores (inovadores ou imitadores) irão determinar a forma como a demanda irá crescer (FIGUEIREDO, 2012).

Os autores, (BENVENUTTI; RIBEIRO; URIONA, 2017), conduziram assim vários experimentos de simulação testando quatro políticas: isenção de impostos de importação para carros elétricos e híbridos (Política 1); redução de impostos de propriedade do veículo, IPVA (Política 2); isenção de imposto federal de dez anos sobre produtos manufaturados (Imposto sobre Produtos Industrializados, IPI) (Política 3). Por último, analisaram um regulamento de proibição para veículos a combustão interna a longo prazo (como o proposto na Alemanha) (Política 4).

Com base nestes resultados de simulação de cenários, fica claro que incentivos fiscais são necessários no país, a fim de obter uma maior taxa de difusão dos VE. Quando comparadas com a linha de base (onde nenhum incentivo é aplicado), todas as três políticas (independentemente das diferenças entre execuções de cenários específicos) resultam com taxas de difusão mais altas. Mais especificamente, a Política 3 obtém um aumento de 50% e 70% em relação a linha de base, o mais alto de todas as três políticas. Ainda assim, mesmo a política de menor sucesso na análise (Política 1) obtém um aumento de 10% e 25%, quando comparada a linha de base.

(LI, Y. *et al.*, 2016), por exemplo, compara a adoção de VE no Brasil e na China, demonstrando a importância também dos incentivos políticos, pois a promoção de VE da China tem sido muito mais forte do que a do Brasil por causa de suas medidas de política e investimentos em infraestrutura. Segundo (RIETMANN; LIEVEN, 2019) o Brasil é o país com menor participação de VE no mercado entre os 20 países incluídos na análise executada pelos autores. Com efeito, não existe um fato social ou ambiental latente que promova, por si só, um direcionamento das ações tanto públicas quanto privadas na vertente da eletromobidade, semelhantes às existentes nos casos internacionais.

Em 2011, com o aumento das vendas de automóveis importados no Brasil, o Governo Federal aumentou as alíquotas do IPI para proteger a indústria nacional. Esta política foi ampliada com a introdução do Inovar-Auto em 2013, que incentivava a inovação tecnológica e a eficiência energética na produção automotiva, isentando empresas do aumento do IPI se cumprissem certos critérios de produção e investimento no país. Apesar das dificuldades econômicas entre 2014 e 2016, o programa resultou em melhorias tecnológicas e na eficiência energética dos veículos. Contudo, o Inovar-Auto teve impacto limitado na P&D de tecnologias relacionadas a VEs e híbridos, mantendo uma abordagem protecionista e conservadora sem incentivos específicos para essas inovações (WOLFFENBÜTTEL, 2022).

Os autores (BENVENUTTI; RIBEIRO; URIONA, 2017) concluem que, em termos de números absolutos, a base instalada de veículos com combustível alternativo (AFV) no ano 2030 é próxima de 140 mil veículos para o cenário de maior sucesso e cerca de 81 mil para o cenário da linha de base, o que significa que, mesmo o cenário de maior sucesso obtém um desempenho baixo se considerarmos que o número de veículos (automóveis) em circulação em 2022 é de 60.459.290 (INFRAESTRUTURA, 2022). O raciocínio por trás do quarto experimento, que é o meio mais eficaz para acelerar a difusão dos AFV, é a implementação de um regulamento de proibição para veículos com motor de combustão interna (ou carros convencionais). Percebe-se que somente a isenção fiscal é insuficiente para a transição à mobilidade elétrica no país.

A partir de janeiro de 2024, VEs, HEVs e PHEVs importados voltaram a ser gradualmente tributados com imposto de importação (II), encerrando o período de isenção. Essa medida, deliberada pelo Comitê Executivo de Gestão da Câmara de Comércio Exterior (Gecex-Camex), busca desenvolver a cadeia automotiva nacional, acelerar a descarbonização da frota brasileira e contribuir para a neointustrialização do país, com foco em inovação, sustentabilidade e fortalecimento do mercado interno (MDIC/GECEX, 2023). Inicialmente, a alíquota para VEs será de 10%, chegando a 35% em julho de 2026, enquanto HEVs e PHEVs seguirão cronogramas progressivos semelhantes. Apesar desse avanço, a carga tributária total sobre VEs ainda permanece elevada em comparação internacional, tornando-os mais caros no Brasil do que em países europeus (COSTA *et al.*, 2020).

Aliás, (COSTA *et al.*, 2020) investigaram o VE como alternativa capaz de atender às necessidades de transporte pessoal no Brasil. Para realizar essa avaliação, o estudo considerou aspectos sócio-técnico-econômicos e político-ambientais-inovadores para avaliar os desafios e oportunidades para a adoção dos VE, utilizando uma pesquisa qualitativa através de análise SWOT (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças, FOFA).

Os autores relatam que como um exemplo de força é que a difusão do VE pode proporcionar novas atividades econômicas, como a indústria de baterias, a indústria de software, bem como novos modelos de negócios para explorar as atividades de veículo como um serviço (*Car as a Service* MCI, CaaS). Por outro lado, as ameaças e fragilidades, para a expansão dos VE são dominadas por aspectos técnico-econômicos (questões políticas foram citadas em menor grau), devido à percepção de que muitos investimentos em desenvolvimento tecnológico são necessários para massificar mercado de VE como a questão da infraestrutura de carregamento rápido. Embora o etanol como combustível seja uma prioridade nacional, por sua importância

para a economia brasileira, o estudo apontou a opção de veículos de passeio de baixo carbono e destaca que VE não é um concorrente do etanol, mas uma tecnologia complementar.

Concluem que uma rota viável para a difusão de VE seria se o governo brasileiro optasse por expandir lentamente a frota de VE em frotas do governo e de empresas privadas nas quais estes podem se tornar economicamente benéficos e operacionalmente viáveis. A expansão para o mercado de massa poderia ocorrer em uma segunda etapa, quando o mercado internacional de VE e as políticas brasileiras se consolidassem.

2.5. Desenvolvimento tecnológico

As baterias elétricas representam um terço do custo dos VE e HEV, sendo um enorme desafio (TIE; TAN, 2013). Recentemente, impulsionados pela motivação de melhorar nosso estilo de transporte, grandes esforços foram dedicados ao desenvolvimento de melhores baterias de íon de Lítio (BIL) para VE em termos de maior densidade de energia específica, vida útil mais longa e melhor segurança. Entretanto, a pesquisa tecnológica está ainda em pleno desenvolvimento e há um aprimoramento contínuo das BIL, que podem usar uma variedade de metais diferentes em conjunto com o próprio Lítio, tais como: Óxido de Lítio Manganês (LMO), Fosfato de Lítio e Ferro (LFP), Óxido de Lítio-Níquel Cobalto-Manganês (NCM) e Óxido de Lítio-Níquel-Cobalto-Alumínio (NCA) (RAUGEI; WINFIELD, 2019). Ao contrário do eletrólito líquido orgânico, os eletrólitos inorgânicos de estado sólido (EES) oferecem inúmeras vantagens. A vantagem mais crítica é a segurança que se beneficia da natureza não inflamável dos EES (GAO *et al.*, 2018).

O uso crescente de baterias elétricas, especialmente em escala de rede, levanta preocupações ambientais e de saúde significativas, conforme discutido por (DEHGHANI-SANIJ *et al.*, 2019). Essas baterias, embora essenciais para o armazenamento de energia renovável, envolvem o uso de metais pesados e materiais que podem ser nocivos ao meio ambiente e à saúde humana. Substâncias como chumbo, cádmio e mercúrio, utilizadas na fabricação de baterias, são absorvidas pelo corpo humano através da ingestão, inalação e contato dérmico, podendo causar efeitos adversos à saúde. Além disso, durante a produção, transporte, uso e reciclagem das baterias, ocorre a liberação de poluentes perigosos, incluindo resíduos tóxicos e gases de efeito estufa. Esses processos contribuem para a contaminação do solo, águas subterrâneas e atmosféricas, destacando a necessidade de alternativas de armazenamento de energia mais sustentáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública.

Segundo (CONDE JUSSANI; COULTER WRIGHT; IBUSUKI, 2017), a mineração de lítio pode ser um caminho para o Brasil se tornar parte da cadeia de valor global de baterias visto as reservas e a experiência que o país possui, bem como as reservas de minerais estratégicos dos países da América Latina. O país iniciou a produção de Lítio nos anos 1970, entretanto a produção de BIL para equipamentos eletrônicos e VEs (BEV, HEV e PHEV), requerem carbonato de lítio de alta pureza ($> 99,50\% \text{Li}_2\text{CO}_3$) que não podem ser obtidos pela indústria nacional, cujos compostos são de um grau técnico inferior ($98,8\% \text{Li}_2\text{CO}_3$) (BRAGA; FRANÇA; JUNIOR, 2014).

(CANO *et al.*, 2018) enfatizam que as particularidades dos mercados emergentes podem criar rotas ou aplicações tecnológicas. Portanto, um mercado baseado em BIL não deve ser considerado como garantido no futuro. As opções de tecnologias de baterias incluem Níquel-Hidreto Metálico, Enxofre de Lítio, Lítio-Ar e dispositivos de armazenamento Zinco-Ar. Destaca-se que, diante de um aumento de preço, é muito provável que o público brasileiro veja uma probabilidade reduzida de adquirir um VE (VARGAS *et al.*, 2020).

O Brasil em função do acúmulo de competências no desenvolvimento de produtos automotivos poderia ser um produtor de *Powertrain* elétrico e essas competências de desenvolvimento de produtos já foram documentadas nos trabalhos de (AMATUCCI; BERNARDES, 2009; SOUZA, T. L. de M. e *et al.*, 2011). O *Powertrain* é definido como “trem de força”, isto é o grupo de componentes de um veículo motorizado que fornece potência às rodas motrizes, incluindo o motor.

(BARASSA, 2019) mapeando as patentes depositadas no Brasil argumenta que a indústria dispõe das capacidades de inovação do *Powertrain* já instaladas e poderia se pensar em desenvolvimentos de arquiteturas customizadas localmente. Entretanto, como demonstrou (AMATUCCI; BERNARDES, 2009) que a capacitação no desenvolvimento de produtos é resultado de uma combinação da estratégia da matriz com a estratégia da subsidiária, tendo em vista fatores ambientais globais. Um dos principais fatores que podem determinar o potencial do Brasil como produtor de *powertrain* elétrico é o nível de desenvolvimento tecnológico do país e o investimento em P&D. A tecnologia de *powertrain* elétrico ainda é relativamente nova e requer um investimento significativo em P&D para desenvolver os conhecimentos e capacidades necessários.

Uma das formas de dar maior autonomia para os veículos elétricos é a utilização de células a combustível com o uso de hidrogênio. No entanto, o maior desafio para a produção de

hidrogênio de baixo carbono, que é o hidrogênio combustível criado com o uso de energia renovável em vez de combustíveis fósseis (*gray hydrogen*), provavelmente não virá da utilização de fontes renováveis de energia para eletrólise da água, mas da tecnologia de hidrogênio dominante atual que é baseada na reforma de hidrocarbonetos (OLABI; WILBERFORCE; ABDELKAREEM, 2021).

Pesquisas de produção de hidrogênio por reforma do etanol ou o uso direto nas células combustíveis estão aprimorando o seu uso (RABENSTEIN; HACKER, 2008). As células a combustível de etanol direto (DEFC) são uma categoria de célula a combustível na qual o etanol é alimentado diretamente na célula (ONG; KAMARUDIN; BASRI, 2017). Assim, o uso de hidrogênio cinza só se justifica em um período de transição extremamente curto na próxima década (KOVAČ; PARANOS; MARCIUŠ, 2021).

(DE OLIVEIRA GONÇALVES *et al.*, 2021) relatam que o VE à célula combustível ou *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV) especificamente a célula a combustível de óxido sólido (*Solid Oxide Fuel Cell – SOFC*) é uma tecnologia intrigante inventada há alguns anos. O SOFC é uma tecnologia que permite que energia química como etanol e gasolina sejam convertidas em energia elétrica. A conversão de alta eficiência e as baixas emissões de GEE são as principais vantagens do SOFC.

A célula a combustível é um dispositivo eletroquímico que converte o calor gerado pela combustão de um combustível (hidrogênio, gás natural, metanol, etanol, hidrocarbonetos etc.) diretamente em eletricidade. No ânodo, o combustível é oxidado eletroquimicamente sem produzir poluentes (apenas água e/ou dióxido de carbono são rejeitados na atmosfera), enquanto o oxidante (oxigênio do ar) é reduzido no cátodo (VIGIER *et al.*, 2004). Como resultado, o SOFC pode ajudar o meio ambiente enquanto ainda tem a capacidade de atender às necessidades de aplicações veiculares. Conforme demonstra (DEBE, 2012) avanços no desenvolvimento de células a combustível demonstram a importância de continuar aumentando a quantidade e a qualidade da pesquisa básica no assunto.

2.6. Biocombustível e eletromobilidade

Há uma particularidade no Brasil nesta questão dos biocombustíveis, devido ao relativo sucesso do Programa PROÁLCOOL nas décadas de 1970 e 1980 (STOLF; DE OLIVEIRA, 2020). O PROÁLCOOL foi um programa bem-sucedido de substituição em larga escala de derivados de petróleo. Foi desenvolvido para evitar maior dependência de divisas durante os choques do petróleo. Os baixos preços pagos aos produtores de álcool após a queda brusca dos

preços internacionais do petróleo (a partir do final de 1985) impediram o aumento da produção nacional do produto. Embora de curta duração, a crise de oferta de álcool do final da década de 1980 afetou a reputação do PROÁLCOOL, juntamente com a redução dos incentivos ao seu uso; nos anos seguintes, a demanda caiu drasticamente e, portanto, as vendas de carros à etanol.

Entretanto, a tecnologia gerada no período por meio do desenvolvimento do veículo *flex fuel* permaneceu e hoje dita a maioria dos veículos MCI vendidos no mercado nacional e uma mistura rica em etanol na gasolina de 27%. O carro *flex fuel* pode funcionar com gasolina, etanol ou uma mistura desses dois combustíveis foi lançado no país em março de 2003 e rapidamente conquistou os consumidores (DE FREITAS; KANEKO, 2011).

No início dos anos 2000, incentivados por políticas do Governo brasileiro, houve novo impulso aos biocombustíveis como uma solução sustentável. Nesse contexto de desenvolvimento e promoção de fontes renováveis, o Brasil ocupa posição de destaque, principalmente em termos de bioenergia (SCHIRMER; GAUER, 2012). Isso se evidencia como vimos na Figura 5 onde a biomassa destaca-se como fonte energética. A 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, será longa (Brasil; Ministério de Minas e Energia, 2020)(Brasil; Ministério de Minas e Energia, 2020), pois as duas transições energéticas anteriores – de madeira para carvão e carvão para petróleo e gás – levaram de 70 a 100 anos para que a nova fonte de energia adquirisse 50% de participação de mercado (SOVACOL, Benjamin K., 2016).

Usando equações para estimar a substituição global de tecnologia de energia, (MARCHETTI; NAKICENOVIC, 1979) apud (ARAÚJO, 2014) descobriram que uma mudança de 1 a 50%, ou 10 a 90% da participação de mercado, levaria de 80 a 130 anos. Entretanto, é difícil prever com certeza quanto tempo levará para uma transição completa para fontes de energia mais sustentáveis com menor pegada de carbono. Segundo (SOVACOL, Benjamin K., 2016) as transições energéticas muitas vezes aparecem não como uma linha exponencial em um gráfico, mas como um equilíbrio pontuado que desce e sobe e não há uma equação mágica. Transições rápidas ocorreram e são capazes de ocorrer, mas elas só se tornam aparentes quando alguém adere cuidadosamente a uma noção particular de significado, sociedade, recursos energéticos e serviços energéticos e, então, aprecia a especificidade contextual. Assim, especialistas, como (HOANG *et al.*, 2021), acreditam que é possível

alcançar uma mudança significativa para fontes de energia mais limpas dentro de algumas décadas.

O ritmo da transição dependerá de vários fatores, incluindo desenvolvimentos tecnológicos, mudanças políticas e atitudes públicas em relação à sustentabilidade. Alguns países e regiões já fizeram progressos significativos na transição para fontes de energia renováveis e estão a caminho de atingir suas metas de energia limpa muito antes de um século (STAFFELL *et al.*, 2018).

Dito isto, a transição não acontecerá da noite para o dia e exigirá investimentos e esforços significativos de governos, empresas e indivíduos. Provavelmente envolverá uma combinação de fontes de energia renováveis, como eólica, solar e hidrelétrica, bem como avanços em armazenamento e eficiência de energia. Em última análise, a velocidade da transição energética dependerá dos esforços coletivos da sociedade para priorizar e investir em fontes de energia sustentáveis e trabalhar para reduzir as emissões de carbono para mitigar os impactos das mudanças climáticas (ASSIRATI, 2019; RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2023; SOVACOOOL, Benjamin K., 2016).

Há, assim, um público de especialistas que defende que a estratégia que o país deveria adotar seria a dos biocombustíveis, pois o uso da biomassa já é a adoção de uma energia “verde”. Nesta posição, (MALAQUIAS *et al.*, 2019) demonstram que a associação entre o etanol brasileiro e a tecnologia avançada em veículos MCI seria uma alternativa promissora para uma mobilidade global mais sustentável no futuro. Este trabalho apresenta uma revisão sobre o presente e o futuro da mobilidade global, na qual foi abordado um estudo sobre biocombustíveis, em especial o etanol, e um estado da arte incluindo motores de combustão interna e eletrificação de meios de transporte.

Some-se que (DRANKA; FERREIRA, 2020) indicaram um claro efeito positivo do aumento da participação de VE na redução do nível geral de emissões de CO₂, que é altamente dependente da participação das Fontes de Energia Renovável no sistema de energia e do uso de biocombustíveis no setor de transporte. Ainda, segundo (ANDERSSON; BÖRJESSON, 2021) os combustíveis renováveis têm um maior potencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa do ciclo de vida do que uma mistura de eletricidade de baixo carbono, mas não há consenso nessa posição.

O RenovaBio é um programa do governo brasileiro lançado em dezembro de 2016, que reforça essa estratégia, e cujo objetivo é expandir a produção de biocombustíveis no Brasil,

baseada na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e social, e compatível com o crescimento do mercado (EPE, 2018b; GRANGEIA; SANTOS; LAZARO, 2022). O principal instrumento da política é o estabelecimento de metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis, de forma a incentivar o aumento da produção e da participação de biocombustíveis na matriz energética de transportes do país. Em março de 2021 o percentual de biodiesel no diesel brasileiro foi de 12% para 13% (ANP, 2021) e agora para 14% em 2024.

O resultado desta posição pode levar o país a tardar a transição energética e pode-se inferir esta posição nos atuais projetos de ciência e tecnologia sendo financiados pelo Programa Rota 2030, que são majoritariamente destinados na manutenção do *status quo* industrial com poucos projetos dedicados à transição energética. O Programa Rota 2030 foi criado pelo governo federal com o objetivo de desenvolver uma política industrial de longo prazo para o setor automotivo e de autopeças, estimulando investimentos e fortalecendo as empresas brasileiras do setor (FRANCO *et al.*, 2020). Regido pela Lei nº 13.755/2018, o programa estabelece normas para a produção e comercialização de veículos no país, levando em consideração os próximos quinze anos de atuação da indústria automobilística – divididos em três ciclos de 5 anos. Estudo nos resultados deste Programa ainda não são disponíveis para uma posição mais clara desta posição.

Dentro dessa perspectiva, o desenvolvimento de HEV à etanol surgem como um mantra de conciliar a posição pró-biocombustível e a adoção de VE. Alguns fabricantes oferecem hoje no mercado modelos híbridos que podem ser abastecidos com etanol. Entretanto, esta posição pró-biocombustível não pode retardar a transição energética no país, perpetuando demasiadamente os modelos MCI, sem efetivamente minimizar o problema ambiental e dos GEE. No Brasil, o desenvolvimento de HEV movidos a etanol tem sido proposto como uma solução potencial para conciliar a posição pró-biocombustível e a adoção de HEVs, que combinam um motor elétrico e um motor a gasolina ou etanol, oferecendo uma ponte potencial entre essas duas tecnologias. Ao usar o etanol como fonte de combustível, os HEVs podem reduzir as emissões e a dependência de combustíveis fósseis, enquanto ainda oferecem a conveniência e autonomia dos veículos movidos a gasolina tradicionais (DE SOUSA; CASTAÑEDA-AYARZA, 2022). No geral, embora o desenvolvimento de HEVs movidos a etanol tenha sido discutido como uma solução potencial para conciliar a posição pró-biocombustível e a adoção de VEs no Brasil, continua sendo apenas uma das várias abordagens possíveis para interpelar essas questões.

Por sua posição periférica e suas características de mercado, o Brasil tem promovido esforços significativos para desenvolver HEVs movidos a etanol, como os projetos de P&D da Toyota. A recente decisão da Stellantis de produzir veículos híbridos a etanol com a tecnologia "bio-hybrid" em Goiana, Pernambuco, a partir de 2024, reforça essa tendência. A combinação do etanol com eletrificação é vista pela empresa como uma solução viável e rápida para eletrificar a frota brasileira, aproveitando a infraestrutura de biocombustíveis existente. No entanto, apesar desses avanços, críticos argumentam que a adoção dos HEVs no Brasil ainda enfrenta desafios, como a resistência da indústria em amortizar investimentos em tecnologias tradicionais e a dificuldade em atender às demandas ambientais e de mobilidade sustentável de forma mais ampla (VARGAS *et al.*, 2020). Por sua posição periférica e ser um mercado com características peculiares, houve alguns esforços bem-sucedidos no Brasil para desenvolver HEVs movidos a etanol, incluindo projetos de P&D da Toyota, por exemplo. No entanto, a adoção de HEVs no Brasil tem sido limitada e alguns críticos argumentam que os HEVs não são uma solução suficiente para os desafios de transporte e energia do país, o mercado automobilístico brasileiro estaria naturalmente a ser um seguidor na transição energética (VARGAS *et al.*, 2020). A indústria automobilística quer ver amortizados seus investimentos nas tecnologias já dominadas e tradicionais.

É importante observar que o impacto ambiental de qualquer tecnologia ou fonte de combustível pode variar dependendo de muitos fatores, como os processos específicos usados para produzir e distribuir o combustível, a geografia e o clima da região em que é usado e o aplicações específicas de uso final do combustível. No entanto, conforme (COUTINHO, 2023; HOQUE *et al.*, 2019; SOUZA, N. M. De, 2022), os veículos movidos a biocombustíveis têm impactos maiores do que os VEs em algumas categorias ambientais, como uso da água e uso da terra. Isso ocorre porque os biocombustíveis são normalmente produzidos a partir de culturas que requerem grandes quantidades de água e terra para crescer, e a produção de biocombustíveis também pode ter impactos negativos na biodiversidade e na saúde do solo.

Por outro lado, verificou-se que os VEs têm impactos menores em categorias como potencial de eutrofização¹⁰, potencial de acidificação e potencial de oxidação fotoquímica. Isso ocorre porque os veículos elétricos não emitem poluentes diretamente de seus escapamentos, como os MCIs, e suas emissões dependem da fonte de eletricidade usada para carregá-los (COUTINHO, 2023). Se a eletricidade usada para carregar VEs vier de fontes renováveis, como

¹⁰ Eutrofização é o processo de poluição de corpos d'água, como rios e lagos, que acabam adquirindo uma coloração turva ficando com níveis baixíssimos de oxigênio dissolvido na água.

eólica ou solar, seu impacto ambiental geral pode ser significativamente menor do que o dos veículos movidos a biocombustíveis. Também vale a pena notar que tanto os biocombustíveis quanto os VEs têm seus próprios desafios e compensações em termos de impacto ambiental, e a solução mais sustentável provavelmente envolverá uma combinação de diferentes tecnologias e abordagens.

2.7. Transição energética

Segundo (MILLER; ILES; JONES, 2013), o futuro dos sistemas de energia é um dos principais desafios políticos enfrentados pelos países industrializados. Assim, o conceito de transição energética, segundo (COUTINHO, 2023; SOVACOOOL, Benjamin K., 2016), está associado a mudanças significativas na estrutura da matriz energética primária global. As mudanças futuras não são apenas sobre mudanças tecnológicas, mas incluem grandes mudanças sociais, bem como transformar as mudanças em uma grande transição técnico-social (BOLWIG *et al.*, 2019).

Em termos de características, as transições energéticas são processos complexos e podem ter diferentes estágios e taxas de transição em diferentes países, regiões ou locais. Em outras palavras, em geral, o problema não é um processo linear e de falha, mas uma existência de longo prazo entre a fonte que o caracteriza e as fontes que gradualmente se substituem. Existem fatores envolvidos na transformação da infraestrutura de produção, transporte e uso de energia que explicam a lenta transição dos sistemas energéticos em todo o mundo. A atual transição energética é baseada em condições como desenvolvimento sustentável, mudanças climáticas e inovação tecnológica ligada à eletrônica e à entrada na era digital. Os VEs têm uma grande sinergia com as energias renováveis e muitos estudiosos veem uma transição para VEs como parte da transição energética (COUTINHO, 2023; STOKES; BREETZ, 2018; TORABI; GOMES; MORGADO-DIAS, 2021; VAN DER KAM *et al.*, 2018; YUAN *et al.*, 2021).

A mudança dos combustíveis fósseis, principalmente o carvão, para fontes de energia com baixo teor de carbono, como eólica, solar e gás natural, é uma marca registrada da transição energética moderna. Embora as substituições totais de recursos durante as transições energéticas sejam incomuns, se não inéditas, é mais comum que um recurso comece com uma pequena porcentagem e aumente para uma parcela substancial do mix de energia. Uma definição é a mudança de 5% para 80% do consumo de energia para uma fonte específica de energia ou tecnologia (FOUQUET, 2016). É um fato que a literatura da transição energética é robusta e está crescendo (CARLEY; KONISKY, 2020).

Assim, a indústria de energia está mudando globalmente para incorporar mais fontes de energia renováveis. Estabelecer as energias renováveis como soluções técnica e economicamente viáveis foi um dos principais focos de pesquisa e política durante os estágios iniciais da mudança. Estes estágios podem ser categorizados como: pré-comercialização, comercialização, implantação e consolidação (SURANA; ANADON, 2015). É importante notar que os limites entre esses estágios não são fixos, e a transição de um estágio para outro nem sempre é clara. Além disso, diferentes países e regiões podem ter passado por esses estágios em momentos e ritmos diferentes.

Atualmente, em muitas redes (*grids*) de energia, as fontes de energia renováveis estão se espalhando rapidamente, causando mudanças significativas na infraestrutura, organizações e tecnologias atuais. Não apenas as dinâmicas de transição anteriores estão acelerando nesta nova fase da transição de energia, mas também fenômenos qualitativamente novos estão aparecendo. Existem obstáculos significativos para a operação e desempenho geral do setor elétrico, bem como interações complexas entre várias tecnologias, o desaparecimento de modelos e tecnologias de negócios estabelecidos, lutas econômicas e políticas intensificadas de atores-chave, como empresas de serviços públicos e associações industriais, e o declínio de modelos de negócios e tecnologias estabelecidos, por exemplo, ao integrar energias renováveis (MARKARD, 2018).

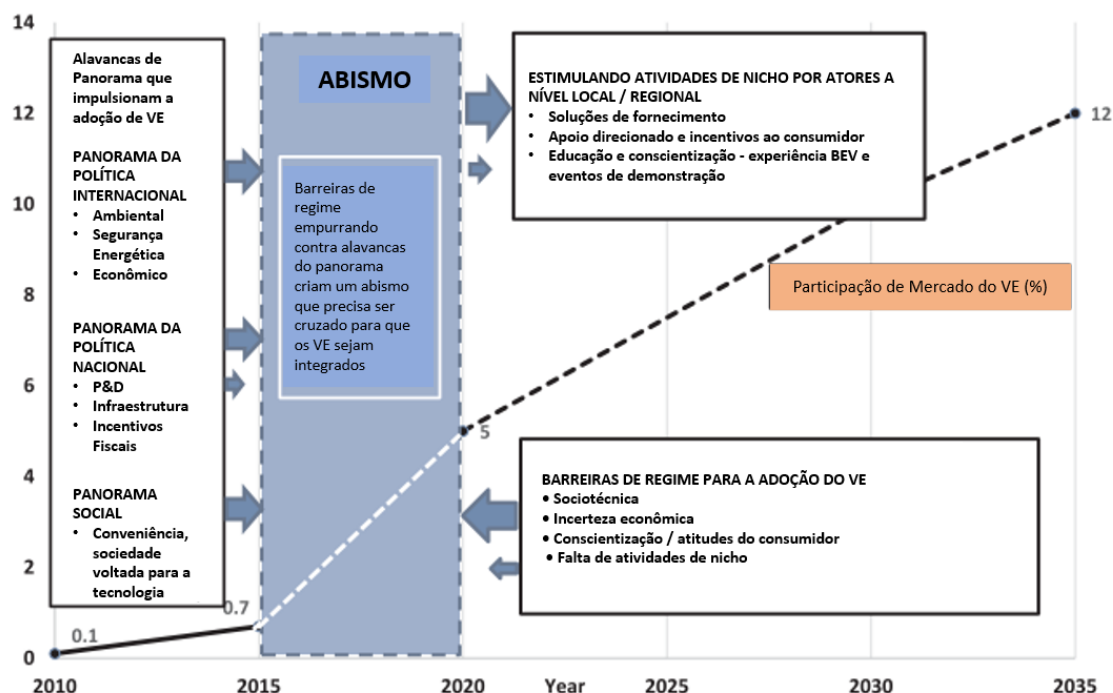
Segundo (GEELS, 2011), mudanças climáticas, perda de biodiversidade e esgotamento de recursos são questões ambientais atuais que representam desafios sociais significativos. Para abordar essas questões, o desempenho ambiental deve ser melhorado por um fator de dez ou mais, o que só pode ser alcançado por mudanças estruturais fundamentais nos setores de transporte, energia, agroalimentar e outros. Argumentos sugerem que interações tecnológicas, poder/política, economia/negócios/mercados e cultura/discurso/opinião pública são todas necessárias para transições sustentáveis.

A perspectiva multinível (MLP) é uma teoria de médio alcance que descreve padrões dinâmicos gerais em transformações sociotécnicas (COUTINHO, 2023). As transições, segundo a MLP, são processos não lineares que surgem da interação de três níveis analíticos: nichos (o *locus* das inovações radicais), regimes sociotécnicos (o *locus* das práticas estabelecidas e regras associadas que estabilizam os sistemas existentes), e um panorama sociotécnico exógeno.

Conforme (GEELS *et al.*, 2017), como as transições de baixo carbono são disruptivas, contenciosas e não lineares, elas não podem ser reduzidas a um desafio de implantação técnica, nem podem ser impulsionadas apenas por incentivos financeiros, legislação e fornecimento de informações. As transições de baixo carbono envolvem mudanças sociais, políticas e culturais, bem como mudanças no comportamento do consumidor. A abordagem MLP fornece uma estrutura analítica de "quadro geral" que acomoda esses processos maiores e, ao mesmo tempo, auxilia na explicação da estabilidade e da mudança. Mas, segundo (COUTINHO, 2023), esta é apenas um dos quatro referenciais teóricos centrais utilizados nos estudos de transições de sustentabilidade: o Sistema de Inovação Tecnológica (TIS) (KUSHNIR *et al.*, 2020), a Gestão de Nicho Estratégico (SNM) (CANIËLS; ROMIJN, 2008), a Gestão de Transição (TM) (STEPHENS; GRAHAM, 2010) e o MLP.

(BERKELEY *et al.*, 2017) abordam a falta de uma conceituação profunda das complexas forças de vários níveis que impactam a transição à mobilidade elétrica, usando a metodologia MLP, como uma lente por meio da qual interpreta-se a aceitação do BEV europeu e a transição da automobildade. Os autores fornecem uma meta-análise das tendências na Europa, por meio de uma revisão detalhada da literatura, revisão de documentos de política e resultados de projetos de demonstração, a fim de apresentar uma compreensão holística das complexas forças socioeconômicas e técnicas que operam em nível de panorama e regime que tanto empurra quanto puxa contra a transição; ao mesmo tempo, informando soluções mais eficazes que podem conduzir a transição para além dos espaços de nicho em direção a uma ruptura real do regime de MCI estabelecido. Esta metodologia MLP possui uma abordagem em três níveis diferentes: panorama, regime e nicho. A Figura 6 sintetiza este framework proposto pelos autores nas perspectivas de panorama, regime e nicho.

Figura 6: Cruzando o Abismo do VE para a penetração no mercado: uma perspectiva multinível.



Fonte: BERKELEY et al. (2017), pág. 323.

O efeito da interação desse impulso do panorama e dessa atração do regime é, conforme ilustrado na Figura 6, um abismo através do qual as nações que buscam aumentar a participação no mercado e a transição dos VE precisam cruzar. Para isso, é necessária a interação efetiva entre os níveis de panorama e de regime, proporcionando um ambiente certo para que atividades de nicho sejam estimuladas em escalas locais e regionais. Isso sugere a necessidade de desenvolvimento e implementação de estratégias e políticas eficazes que podem envolver, por exemplo, aquelas destinadas a aumentar a visibilidade do VE, por meio do investimento em infraestrutura de carregamento e eventos de experiência de VE para consumidores; ao mesmo tempo que fornece suporte de P&D para incentivar o florescimento de atores de nicho (BERKELEY *et al.*, 2017).

Em termos temporais, segundo (GEELS *et al.*, 2017) o MLP mostra que os governos devem priorizar o cultivo de invenções e coalizões de nicho de baixo carbono antes de aumentar progressivamente as pressões de seleção. Em particular, os formuladores de políticas devem priorizar as políticas de governança e inovação de rede (por exemplo, projetos de demonstração, workshops de previsão e cenários, subsídios de P&D) nas duas primeiras fases de transição, com o objetivo de criar "espaços protegidos" para nichos de inovações que incentivam o aprendizado, a construção de redes, a implantação inicial e a articulação de visões e discursos. Quando as ideias de nicho ganharem impulso interno na fase posterior, os formuladores de

políticas devem se tornar mais seletivos, pressionando mais o regime por meio de incentivos econômicos (por exemplo, precificação de carbono) ou regulamentações mais rígidas.

2.8. Bicicletas elétricas e soluções de última milha

A mobilidade ativa pode fornecer um caminho para cidades e sociedades sustentáveis, pois oferece várias vantagens, como redução da poluição do ar e benefícios para a saúde dos usuários (KAZEMZADEH; BANSAL, 2021). Entre os VE, as bicicletas elétricas (EB) estão recebendo muita atenção em todo o mundo devido aos seus muitos benefícios (DILL; ROSE, 2012).

A EB é uma bicicleta equipada com motor, que pode estar em uma das rodas ou acoplado ao pedivela e à bateria, e que auxilia na propulsão do veículo, conforme a Resolução CONTRAN nº 465/2013 (GUTH; ANDRADE, 2020). Elas geralmente são pequenas, ocupam um volume menor que os VE, e podem atravessar vários terrenos, como acidentados e planos, tornando-as mais flexíveis do que outros VE. Elas também se movem facilmente em cidades lotadas, ajudando a reduzir os congestionamentos. EB são geralmente mais baratas do que outros VE e, na maioria dos países, como no Brasil, não exigem seguro, taxas de trânsito ou licença para andar (HUNG; LIM, 2020).

Apesar de suas vantagens e dos recentes avanços nas políticas públicas voltadas à mobilidade ativa, no caso específico de medidas de incentivo ao uso da bicicleta como meio de transporte, ainda há muito o que evoluir. As cidades brasileiras contam ainda com pouca infraestrutura, como ciclovias, e baixa segurança viária para os usuários (URES *et al.*, 2020).

A participação no mercado brasileiro das EB, ainda é pequeno, pois estima-se que frente aos 4 milhões de bicicletas convencionais da produção industrial nacional em 2018, as 25 mil unidades de EB em 2019 corresponderam a uma fatia de 0,6% do mercado, sendo de 32 mil unidades em 2020 ou 1% do mercado, corroborando com os desafios que os levíssimos enfrentam (BIKE, 2021).

2.9. Custos

Os HEVs têm um preço *premium* que muitas vezes pode ser compensado por custos de operação mais baixos. O custo total de propriedade (TCO) combina essas despesas de compra e operacionais para identificar a escolha mais econômica do veículo. (PALMER *et al.*, 2018) estabeleceram uma conexão entre o histórico do TCO dos HEV e a participação de mercado, com evidências de regiões como Japão e Califórnia onde o apoio governamental de longo prazo permitiu taxas de adoção por parte dos consumidores mais altas. Assim, apesar dos

investimentos iniciais de compra dos HEV serem mais elevados, o TCO é mais baixo. Entretanto, isso ainda é um impedimento no Brasil.

Um dos avanços tecnológicos importantes é a redução dos custos iniciais dos VE. (SAFARI, 2018) relata que as projeções apresentadas para a competitividade de preços dos BEV baseadas exclusivamente no custo da bateria podem ser enganosas. Há por exemplo, o preço-alvo de 125 US\$/kWh para baterias, definido pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE), que é relatado na literatura (DING *et al.*, 2019; LIU; ROSS; NEWMAN, 2015; NYKVIST; NILSSON, 2015) como um limite abaixo do qual os BEV tornam-se competitivos em custo com os MCI. Entretanto, a literatura recente sobre simulação de custos de BILs sugere que a economia de escala é alcançada em um limite de produção de 1 GWh/ano (SAFARI, 2018). Já (SCHMIDT *et al.*, 2017) projetaram que os custos de capital para sistemas de armazenamento de energia atingiriam cerca de 340 US\$/kW para sistemas estacionários e 175 US\$/kWh para baterias, uma vez que 1 TWh/ano de capacidade fosse implantado. Para isso, são necessários investimentos cumulativos de US\$ 175 a US\$ 510 bilhões, que podem ser realizados entre 2027 e 2040 com base nas projeções de crescimento do mercado global.

As BILs são atualmente a melhor opção de armazenamento de energia para VEs devido às suas propriedades vantajosas, como alta eficiência energética, falta de “efeito de memória”¹¹, longa vida útil e altas densidades de energia e potência. No entanto, os VEs ainda enfrentam barreiras em termos de desempenho (alcance, taxa de carregamento, vida útil) e tecnologia (custo, segurança, confiabilidade), limitando sua adoção generalizada. Muitos OEMs, incluindo a Tesla Corporation, estão expandindo suas capacidades de produção de baterias para acelerar a penetração no mercado de VEs (DING *et al.*, 2019). Além de aumentar o volume de produção, outras estratégias, como otimizar a fabricação de células e reduzir os custos de fabricação, podem ajudar a reduzir os custos da bateria. Os custos das matérias-primas, especialmente os materiais do cátodo, contribuem significativamente para os custos totais da bateria. Portanto, reduzir as despesas com matérias-primas ou desenvolver produtos químicos para baterias de baixo custo e alta energia seria benéfico para futuras reduções de custo das baterias.

As BILs, por exemplo, conforme revisado por (ZENG *et al.*, 2019), geralmente utilizam grafite como material de ânodo primário devido à sua alta condutividade elétrica. O grafite serve como um material de eletrodo de baixo custo, demonstrando desempenho eletroquímico

¹¹ Indica uma característica das baterias de Níquel-Cádmio (NiCd) mais antigas, que quando não eram descarregadas completamente até o limite inferior de tensão, nas descargas subsequentes perdiam parte de sua capacidade. É como se a bateria ficasse “viciada” em fornecer menos energia.

estável e expansão de volume mínima. No entanto, um desafio notável com o grafite surge de uma reação parasitária irreversível entre o eletrólito orgânico e o grafite¹² litiado, particularmente sob condições extremas e taxas de carga/descarga rápidas. Essa reação leva à decomposição dos eletrólitos e à deformação do carbono, o que degrada o desempenho da célula, principalmente em termos de potência de saída. Consequentemente, avanços tecnológicos intensivos estão focados em resolver este problema de passivação na superfície do carbono. Flocos de grafite maiores com áreas de superfície menores provaram sustentar ciclos mais longos com eficiências coulômbicas mais altas. Para flocos de bateria, é necessário um nível de pureza acima de 99,9%, enquanto outros tamanhos de flocos geralmente variam entre 95% e 98% de pureza. O grafite sintético tornou-se a escolha preferida para baterias de VEs devido à sua alta pureza, qualidade de produção consistente e estabilidade aprimorada em uma ampla faixa de temperatura. No entanto, a demanda rigorosa por grafite de alta pureza aumenta significativamente seu preço, tornando-o aproximadamente 10 vezes mais caro que o grafite natural. Consequentemente, muitas indústrias optam por misturar grafite natural e sintético para encontrar um equilíbrio entre custo e desempenho. Em ânodos de baterias eletrônicas de consumo, o grafite natural representa cerca de 75%, enquanto em ânodos de baterias automotivas, sua contribuição é de apenas cerca de 10%.

Em conclusão, os VEs possuem um preço inicial mais alto, mas seus custos operacionais mais baixos podem compensar essa diferença. O custo total de propriedade (TCO) é um indicador importante para identificar a opção mais econômica, levando em consideração as despesas de compra e operacionais. Avanços tecnológicos estão reduzindo os custos iniciais dos VEs, mas projeções baseadas apenas no custo da bateria podem ser enganosas. A economia de escala é alcançada em um limite de produção específico, e a redução dos custos da bateria depende de investimentos significativos. As BILs são a opção mais comum para armazenamento de energia em VEs, mas enfrentam desafios em termos de desempenho e tecnologia. A redução dos custos das matérias-primas e o desenvolvimento de produtos químicos de bateria de baixo custo são áreas de pesquisa importantes para futuras reduções de custo (TIAN *et al.*, 2021).

¹² O grafite natural tem as vantagens de ser usado como material de eletrodo negativo para baterias de íon-lítio: fontes amplas, baixo preço, plataforma de baixa tensão de carga e descarga e alta capacidade reversível (valor teórico 372mAh / g). No entanto, existem muitos problemas com o grafite como material do eletrodo negativo da bateria: baixa compatibilidade com solventes; baixo desempenho em carregamento e descarregamento de alta corrente; durante a primeira carga e descarga, a camada de grafite é removida devido ao co-embebedimento de moléculas de solvente, o que leva a uma redução da vida útil do eletrodo.

2.10. Mobilidade sistêmica e saúde

O comportamento de fazer viagens já mudou consideravelmente à medida que os estilos de vida mudam e continuarão a mudar no futuro (CEDER, 2020). Assim, uma das estratégias de muitas políticas inteligentes de mobilidade urbana é enxergar o sistema de transporte de uma perspectiva holística para buscar a redução dos efeitos negativos e melhorar o desempenho. No entanto, dados os rápidos avanços tecnológicos no setor de transporte, é necessário identificar e avaliar as principais inovações de mobilidade inteligente de uma perspectiva de sustentabilidade (BUTLER; YIGITCANLAR; PAZ, 2020).

Segundo (BOUDET, 2019), o lugar central que a energia ocupa nos sistemas econômicos, políticos e sociais - e os amplos impactos que as escolhas de energia têm no mundo e na saúde pública - significam que as novas tecnologias frequentemente estimulam reações públicas. Compreender essas respostas públicas e seus motivadores é importante, pois o apoio público pode influenciar a adoção e implantação de novas tecnologias.

(REQUIA *et al.*, 2018) relatam, que particularmente na saúde, um aspecto central da exposição humana é que a poluição do ar relacionada ao tráfego é transferida das ruas para as estações de geração de energia. Logo, a distribuição espacial da população (população urbana e rural) é o aspecto principal, pois, as ruas tendem a impactar mais a população urbana, enquanto as usinas de energia, que utilizam tecnologia fóssil, impactam mais a população rural. Os autores concluem que os benefícios positivos dos VE para reduzir as emissões atmosféricas e a exposição humana dependem do tipo de VE e da fonte de geração de energia.

Por exemplo, as ruas em áreas urbanas podem contribuir para a poluição do ar, congestionamento de tráfego e ruído, o que pode ter impactos negativos na saúde e no bem-estar dos residentes urbanos. Por outro lado, as usinas de energia localizadas em áreas rurais ou próximas a elas também podem contribuir para a poluição do ar, bem como a poluição da água e outros impactos ambientais que podem afetar a saúde e os meios de subsistência das populações rurais. Portanto, conforme (REQUIA *et al.*, 2018), ao avaliar os impactos de diferentes tecnologias, é importante considerar uma série de fatores, incluindo o tipo de tecnologia, a localização da tecnologia e as características do ambiente e da população ao redor.

A minimização do ruído sonoro dos VEs e HEVs representa uma contribuição essencial para a eficiência e sustentabilidade do transporte, atendendo à crescente preocupação com a poluição sonora em áreas urbanas. Conforme (MASRI *et al.*, 2024), os sistemas de ruído,

vibração e aspereza (NVH¹³) desses veículos afetam diretamente o conforto dos ocupantes e a saúde de pedestres, tornando sua mitigação crucial para o sucesso comercial. (Masri et al. , 2024) destaca que, enquanto o trem de força dos veículos com MCIs é uma fonte significativa de NVH em baixas velocidades, nos VEs e HEVs o dispositivo de acoplamento de potência e o sistema de transmissão assumem um papel predominante. A identificação de fontes específicas de NVH e o desenvolvimento de técnicas de supressão são passos fundamentais para oferecer uma experiência de condução mais confortável e reduzir o impacto ambiental do transporte.

2.11. Infraestrutura

Os Postos de Carregamento de Veículos Elétricos (EVCS) ou, simplesmente Estações de Carregamento (CS), estão intrinsecamente relacionados com a intensidade de utilização dos veículos (WHITE *et al.*, 2022). Portanto, quanto mais VEs houver, mais estações de carregamento serão usadas (ARAUJO *et al.*, 2021). O Brasil possui cerca de 10.600 estações de recarga pública, sendo que apenas a partir de 2018, foi regulamentada a cobrança de recarga para VE (ANEEL, 2018b; BARASSA; CRUZ; MORAES, 2022). As iniciativas nacionais de implantação desta infraestrutura contaram, sobretudo, com os recursos do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica da ANEEL.

O impacto dos atributos financeiros e técnicos do VE em sua utilidade é geralmente considerado significativo, incluindo seu TCO, autonomia (*driving range*), duração de carregamento, desempenho do veículo e diversidade de marcas no mercado. A densidade das estações de carregamento também afeta positivamente a utilidade do VE, o que demonstra a importância do desenvolvimento da infraestrutura de carregamento na promoção do VE.

A disponibilidade de infraestrutura de carregamento é um fator crítico na promoção da adoção e uso de VEs. Sem um número suficiente de estações de carregamento, os motoristas podem hesitar em mudar para um VE porque estão preocupados em ficar sem energia antes de chegarem ao seu destino. Estudos demonstraram que a densidade das estações de carregamento afeta positivamente a utilidade dos VEs (LIAO; MOLIN; VAN WEE, 2017). Em outras palavras, quanto mais estações de carregamento estiverem disponíveis em uma determinada área, mais úteis e convenientes os VEs se tornam (WHITE *et al.*, 2022). Isso ocorre porque os motoristas podem ter mais confiança em sua capacidade de encontrar uma estação de

¹³ O NVH é um indicador de conforto de condução e afeta a segurança, o desempenho e o conforto do veículo e dos seus ocupantes. O ruído NVH pode ser tonal, como o do motor, ou de banda larga, como o do vento ou da estrada.

carregamento quando precisam de uma, e podem ser mais propensos a considerar fazer viagens mais longas ou usar seus VEs para o transporte diário.

A infraestrutura necessária para postos de carregamento de VEs varia consideravelmente entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, refletindo diferentes estágios de adoção da EM. Nos países desenvolvidos, a adoção da EM é mais equilibrada, com uma infraestrutura de carregamento proporcional ao número de VEs. Isso é impulsionado por investimentos substanciais em tecnologias da Indústria 4.0, suporte governamental robusto e redes elétricas avançadas. Em contrapartida, os países em desenvolvimento enfrentam desafios como redes elétricas menos resilientes, custos elevados para adaptar a infraestrutura existente e a dependência de políticas públicas para garantir o retorno sobre os investimentos em estações de carga. Além disso, enquanto as nações desenvolvidas lideram a produção e exportação de VEs, os países em desenvolvimento ainda enfrentam dificuldades na fabricação local de veículos e na implementação de infraestrutura adequada. A pesquisa de (ALANAZI, A. *et al.*, 2024) destaca a importância de se considerar características demográficas específicas para otimizar os sistemas híbridos de energia para o carregamento de VEs. O estudo revela que, em função de comportamentos distintos de carregamento – seja durante o dia, à noite ou distribuídos ao longo do dia – as soluções energéticas devem ser adaptadas a essas variabilidades. Isso implica que, para economias emergentes, a integração das tecnologias da Indústria 4.0 e o entendimento das demandas energéticas locais são fundamentais para superar as barreiras tecnológicas e econômicas, promovendo soluções sustentáveis e eficientes para o setor de transporte. Assim, a evolução da EM em países em desenvolvimento requer estratégias personalizadas para viabilizar a infraestrutura de carregamento e apoiar o crescimento sustentável dessa tecnologia.

Segundo (LIMA, M. A. *et al.*, 2020) a região sudeste do Brasil tem sofrido muito com as secas, o que levou a uma queda na contribuição de energia hidrelétrica para apenas 62%, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) em 2015. Para compensar a redução das fontes hidrelétricas, as usinas termelétricas (UTE) tiveram que ser ativadas, resultando na participação da UTE atingindo 28,36% da geração de eletricidade do Brasil, conforme relatado pelo Balanço Energético Nacional em 2012. Enquanto as usinas termelétricas vêm com vários custos de geração, incluindo gastos com combustível, a energia eólica surgiu como uma promissora fonte de energia renovável. É globalmente abundante, limpa e cada vez mais econômica. Em países como o Brasil a energia eólica tem potencial para desempenhar um papel significativo no futuro como uma fonte de energia limpa e eficiente que não depende do consumo de água.

Historicamente, a tecnologia hidrelétrica tem dominado a matriz elétrica brasileira devido aos menores custos de produção. No entanto, a crise hídrica do início dos anos 2000 estimulou a expansão da geração termelétrica, bem como o crescimento da indústria eólica e da cogeração de energia por meio da biomassa do bagaço da cana. Essa expansão foi apoiada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) criado pela Lei 10.438 em 2002. Outra crise hídrica entre 2012 e 2015 afetou ainda mais a geração hidrelétrica, mas o robusto parque termelétrico, juntamente com eletricidade e cogeração, ajudou a mitigar o impacto da crise. No entanto, o aumento da dependência do gás natural nas usinas térmicas levou a maiores custos de eletricidade para os consumidores e aumento das emissões de CO₂. Antes da implementação da resolução nº 482 da ANEEL, não era possível conectar sistemas fotovoltaicos à rede pública de energia, e sistemas isolados com opções limitadas de armazenamento de energia resultavam em custos mais altos de implantação e manutenção. A dependência da água para geração de eletricidade no Brasil tornou-se vulnerável devido às recentes mudanças no ciclo hidrológico, necessitando da expansão e diversificação das fontes renováveis de energia.

Portanto, o desenvolvimento da infraestrutura de carregamento é crucial para promover a adoção generalizada de VEs, e é importante que os formuladores de políticas e líderes do setor invistam nessa infraestrutura para apoiar a transição para um transporte mais limpo e sustentável.

2.12. A importância na regulamentação local

(MATTES; HUBER; KOEHRSEN, 2015) afirmam que as dinâmicas de desenvolvimento local são o resultado da interação de múltiplos subsistemas: ciência, política, administração pública, indústria, finanças, intermediários e sociedade civil, usando a abordagem de Sistemas Regionais de Inovação (RIS). Em nível local, o exame dos subsistemas envolvidos e suas interações demonstram como as transições energéticas são moldadas por vários atores individuais e organizacionais, bem como instituições.

A regulamentação local da EM pode ser extremamente importante para o desenvolvimento e sucesso de VEs e infraestrutura relacionada em uma região específica. Isso ocorre porque os regulamentos locais podem ter um impacto significativo em fatores como taxas de adoção de VE, implantação de infraestrutura de cobrança e sustentabilidade geral do uso de VE. Assim, verifica-se:

- Taxas de adoção de VE: os regulamentos locais podem ter um impacto significativo na taxa de adoção de VE em uma área específica. Por exemplo, pesquisa conduzida pelo Conselho Internacional de Transporte Limpo (ICCT, 2019) constatou que regiões com fortes políticas para promover VEs, como a Califórnia nos Estados Unidos e a Noruega na Europa, tiveram taxas mais altas de adoção de VEs em comparação com regiões sem tais políticas. Isso sugere que as políticas locais podem desempenhar um papel crucial na criação de demanda por VEs e encorajar os consumidores a mudarem de veículos convencionais para VEs.
- Implantação de infraestrutura de carregamento: os regulamentos locais também podem desempenhar um papel crítico na determinação da disponibilidade e acessibilidade da infraestrutura de carregamento para VEs. Por exemplo, em algumas regiões, os regulamentos locais exigem que os novos edifícios tenham um certo número de estações de carregamento de VE instaladas ou que os edifícios existentes devam adaptar seus estacionamentos com estações de carregamento. Esses regulamentos podem ajudar a garantir que os motoristas de VEs tenham acesso conveniente e confiável à infraestrutura de carregamento, o que é essencial para a adoção generalizada de VEs (LAMONACA; RYAN, 2022).
- Sustentabilidade do uso de VEs: Finalmente, os regulamentos locais podem ajudar a garantir que o uso de VEs seja sustentável e contribua para o objetivo geral de reduzir as emissões de gases do efeito estufa. Por exemplo, os regulamentos que exigem o uso de fontes de energia renováveis para estações de carregamento podem ajudar a reduzir a pegada de carbono do uso de VE. Da mesma forma, os regulamentos que promovem o uso de VEs para transporte público e outros serviços de mobilidade compartilhada podem ajudar a reduzir as distâncias percorridas por veículos e reduzir o congestionamento e as emissões (GAHLAUT; SHAPIRO, 2023).

No geral, essas referências sugerem que a regulamentação local da eletromobidade pode ser incrivelmente importante para promover a adoção de VE, garantindo a disponibilidade de infraestrutura de carregamento e promovendo o uso sustentável de VE.

2.13. Comportamento e adoção do consumidor

A crescente demanda por VEs e energia limpa está impulsionando o crescimento do mercado, atraindo investimentos e fomentando a inovação tecnológica, como destacado por (PATIL, 2018). Avanços em tecnologia de baterias, infraestrutura de carregamento e condução

autônoma estão tornando os VEs mais eficientes e acessíveis, atendendo às preocupações ambientais e de sustentabilidade. A diversificação dos modelos de VE reflete um importante movimento na indústria automotiva em direção a soluções de transporte sustentáveis, oferecendo uma variedade de opções que vão desde carros urbanos compactos até SUVs de luxo, além de outros modos de transporte como caminhões e ônibus. Esse desenvolvimento é impulsionado pelo aumento da conscientização sobre os benefícios da eletrificação, incluindo custos operacionais mais baixos e emissões reduzidas. A colaboração entre fabricantes, empresas de tecnologia e governos tem sido fundamental para enfrentar desafios como a autonomia e a infraestrutura de carregamento, facilitando uma adoção mais ampla dos VEs e promovendo um futuro de transporte mais limpo e eficiente.

O comportamento do consumidor na adoção de VEs é uma área de estudo multifacetada, que abrange uma série de temas interligados. De acordo com a literatura, a adoção de VEs tem sido explicada por meio de um mix de comportamentos planejados, emocionais e simbólicos (MOONS; DE PELSMACKER, 2012; SCHUITEMA *et al.*, 2013). Esses estudos oferecem uma compreensão mais profunda ao integrar várias perspectivas teóricas, elucidando como diferentes fatores influenciam as decisões dos consumidores. Entretanto, uma limitação significativa na pesquisa existente é ainda a falta de experiência direta dos participantes com VEs, o que pode comprometer a validade das inferências feitas sobre a adoção (REZVANI; JANSSON; BODIN, 2015). Mais recentemente, (BRESCIA *et al.*, 2023) explora os desafios e tendências do mercado de VEs, destacando o impacto do alto custo inicial, a influência das infraestruturas de recarga e as políticas governamentais na decisão de compra, enquanto prevê que até 2026 os preços dos VEs poderão se equiparar aos MCIs, impulsionando o mercado através de incentivos, diferenciação de preços, e avanços tecnológicos como carregamento rápido e substituição de baterias.

Outro ponto crítico diz respeito à capacidade dos consumidores de avaliar os benefícios financeiros dos VEs em comparação com os veículos de MCI. Como (LANE; POTTER, 2007) destacam, a compreensão dos consumidores sobre as implicações financeiras dos VEs é crucial, especialmente porque a eficiência dos MCIs continua a melhorar. Este desafio sublinha a importância de políticas e campanhas educativas eficazes para comunicar os custos e benefícios financeiros associados aos VEs, contribuindo para a tomada de decisão informada pelos consumidores.

Além disso, percepções de políticas ambientais e sociais, bem como normas sociais e o "efeito vizinhança"¹⁴, desempenham papéis significativos na adoção de VEs (EGBUE; LONG, 2012; ZHANG, Y.; YU; ZOU, 2011). A forma como os consumidores percebem a conexão entre VEs e a proteção ambiental pode influenciar suas intenções de adoção. Estudos podem explorar como diferentes enquadramentos de políticas e mensagens educacionais afetam a autoeficácia ambiental dos consumidores e suas intenções de adquirir VEs, além de examinar as implicações emocionais associadas à adoção de novas tecnologias (GRAHAM-ROWE *et al.*, 2012).

2.14. Governança e Dinâmica de Mercado dos VEs

A governança e a dinâmica de mercado desempenham um papel crucial no desenvolvimento e na difusão das tecnologias de VEs, sendo influenciadas por diferentes atores, políticas públicas e interações entre os setores público e privado. (NILSSON; HILLMAN; MAGNUSSON, 2012) discutem como a governança no setor de transporte, particularmente para biocombustíveis e HEVs, é moldada por diferentes níveis e padrões. O estudo revela que, enquanto os biocombustíveis tendem a ser mais influenciados por uma governança internacional e baseada no mercado, os HEVs estão mais ligados a um modelo de governança liderado pela indústria e cognitivo. A transição para VEs, uma inovação mais disruptiva, exige uma estrutura de governança mais abrangente que não apenas favoreça os avanços tecnológicos, mas também fomente as mudanças necessárias em infraestrutura e comportamento para garantir a sustentabilidade dessa transição.

Essa evolução das tecnologias de transporte sustentável está intimamente ligada à interação entre as políticas públicas e os arranjos institucionais que as sustentam. A governança, como descrita por (NILSSON; HILLMAN; MAGNUSSON, 2012), envolve desde o apoio a tecnologias emergentes até a criação de mercados eficientes para tecnologias maduras. Isso destaca o papel crescente de atores não estatais e a mudança nas interações entre atores privados e públicos, os quais são essenciais para a promoção de inovações sustentáveis. Nesse contexto, a governança deve ser flexível o suficiente para apoiar diferentes fases de desenvolvimento tecnológico, enfrentando barreiras e atendendo às necessidades específicas de cada etapa.

No caso dos VEs, a evolução da governança se torna ainda mais desafiadora à medida que as tecnologias tornam-se mais disruptivas. A transição para os VEs exige uma governança

¹⁴ O efeito vizinhança na adoção de HEVs sugere que a proximidade social e a visibilidade dos VEs influenciam as decisões de compra, além de fatores econômicos e incentivos (ZHU, X.; LIU, 2013).

mais integrada, que leve em consideração não apenas os avanços técnicos, mas também a necessidade de transformar a infraestrutura de recarga e incentivar comportamentos sustentáveis por parte dos consumidores. O engajamento público, que tem sido central para o apoio a tecnologias como os biocombustíveis, ainda se mostra necessário, mas é fundamental que as políticas evoluam para contemplar a complexidade das inovações relacionadas aos VEs.

A experiência da Noruega, conforme discutido por (SKJØLSVOLD; RYGHAUG, 2020), exemplifica como a governança pode evoluir de forma dinâmica para atender à transição para tecnologias de VEs. O conceito de "eco temporal" proposto pelos autores descreve como políticas e ideias se reconfiguram ao longo do tempo, ajustando-se a novos contextos. A transição para VEs no país exemplifica como ideias de longo prazo, originadas nos anos 1970, puderam ser resgatadas nos anos 1990 e impulsionadas por redes de empreendedores que alinharam essas ideias com políticas internacionais, como a legislação de veículos de emissão zero da Califórnia. Isso demonstra como redes locais e globais podem convergir para apoiar a inovação, criando nichos que facilitam a transição tecnológica. Além disso, a complexidade da formação de políticas, discutida no estudo, sugere que o incentivo a comunidades epistêmicas, que exploram alternativas inovadoras, pode ser fundamental para as futuras transições para a mobilidade elétrica.

A governança das tecnologias emergentes no setor de VEs também envolve desafios relacionados a comportamentos de *greenwashing*. (LIU, Changyu *et al.*, 2023) abordam como esses comportamentos podem ser mitigados por meio de mecanismos de governança adequados. O estudo propõe um modelo de jogo evolutivo entre fabricantes, autoridades de certificação e governos, sugerindo que a implementação de penalidades e recompensas adequadas pode acelerar a adoção de práticas mais transparentes e responsáveis. A pesquisa também aponta que a redução dos custos de supervisão e certificação pode incentivar a adoção de práticas mais sustentáveis, ajudando a garantir que a governança no setor de VEs contribua para uma economia de baixo carbono mais eficiente e transparente.

Além disso, a governança da reciclagem de baterias de VEs, conforme analisado por (WEI; WANG; LI, 2022), apresenta outra camada de complexidade. O estudo revela que a eficiência da reciclagem depende das interações entre fabricantes, consumidores e governos. Nos primeiros estágios da indústria, estratégias de punição são essenciais para promover a participação na reciclagem, enquanto subsídios podem ser um incentivo estratégico, embora o uso excessivo desses subsídios possa comprometer o desenvolvimento sustentável. Com o amadurecimento da indústria, a intervenção governamental tende a diminuir, favorecendo um

modelo de governança baseado em incentivos de mercado e lucros endógenos, promovendo assim um crescimento mais sustentável na reciclagem de baterias.

Em resumo, a governança dos veículos elétricos exige um entendimento multidimensional que abarca políticas públicas, interações entre atores diversos e os desafios econômicos e ambientais associados. A evolução dessa governança será determinante para o sucesso da transição para uma mobilidade mais sustentável, eficiente e integrada, envolvendo tanto a inovação tecnológica quanto a mudança comportamental e estrutural necessária para uma sociedade mais sustentável.

3. METODOLOGIA

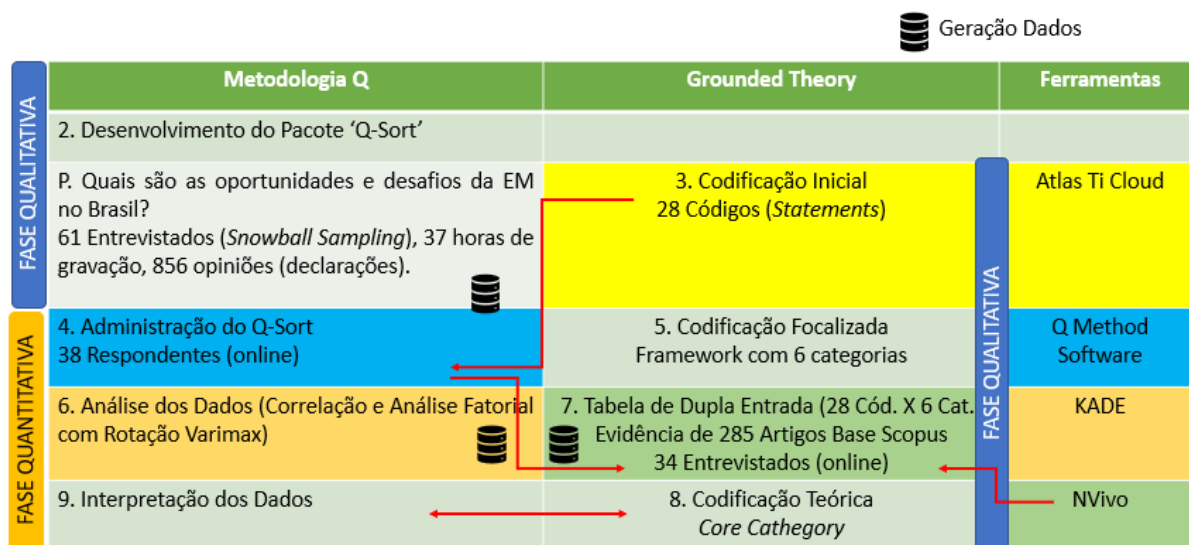
Do ponto de vista de abordagem do problema, este trabalho se constitui como uma pesquisa exploratória de métodos mistos que é o tipo de pesquisa em que se combina elementos de abordagens de pesquisa qualitativa e quantitativa (por exemplo, uso de pontos de vista qualitativos e quantitativos, coleta de dados, análise, técnicas de inferência) para os propósitos de amplitude e profundidade, de compreensão e corroboração (CRESWELL; CLARK, 2013; JOHNSON; ONWUEGBUZIE, 2007). A pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar ao pesquisador conhecimento, familiaridade e compreensão sobre o tema a ser estudado. Utilizando métodos qualitativos e quantitativos, ela busca selecionar e definir conceitos, formular perguntas e hipóteses para investigações futuras (LIMA, S. C. De *et al.*, 2022).

Assim, utilizou-se nesse trabalho a Metodologia Q, que foi criada na década de 1930 por William Stephenson, físico e psicólogo inglês, interessado em encontrar recursos para estudar a subjetividade, característica de alguns objetos de estudo presentes em diferentes áreas e contextos, incluindo os contextos pessoal e vivencial. Esta metodologia foi posteriormente desenvolvida nos EUA por Steven Brown, com um aperfeiçoamento significativo no que respeita à investigação empírica nas áreas das ciências sociais e humanas (COUTO *et al.*, 2013). Ela combina as forças de ambos os métodos: qualitativo e quantitativo (BROWN, 1996).

Ao contrário da análise R, que se concentra em identificar padrões entre variáveis, a metodologia Q tem como objetivo analisar os padrões de perspectivas subjetivas entre os indivíduos (STEELMAN; MAGUIRE, 1999). Por meio da abordagem da metodologia Q, um grupo de pessoas é questionado sobre os fatores que consideram desafios e oportunidades relacionados à eletromobilidade no Brasil. Todas as declarações fornecidas por esse grupo são subjetivas, o que significa que não há respostas certas ou erradas.

A metodologia Q em suas quatro fases foi utilizada em paralelo com a *Grounded Theory* (GT), que utilizou os dados das entrevistas realizadas na fase da administração do Q-sort para fazer a codificação inicial, a codificação focalizada e a codificação teórica (TAROZZI, 2011), conforme a Figura 7. Não houve o uso aleatório de uma metodologia e depois da outra, mas o uso constante de uma e de outra. Na interpretação de dados compara-se os achados dos dois métodos utilizando-se a teoria substantiva descoberta pela GT com os fatores revelados pela metodologia Q.

Figura 7: Uso da Metodologia Q com a GT e as ferramentas de software utilizadas.



Fonte: o próprio autor.

Na Figura 7 vemos as duas metodologias sendo usadas em paralelo bem como as fases qualitativa e quantitativa, bem como o uso de ferramentas (softwares utilizados). A numeração das fases, seguem a ordem cronológica que a pesquisa foi executada. Iniciou-se no número 2, pois considerou-se que a revisão da literatura foi a primeira fase. As setas tentam indicar o uso de dados de uma metodologia em outra e há indicação do uso da ferramenta NVivo na fase 7.

Na GT, segundo (TAROZZI, 2011), um bom método para evidenciar as relações entre categorias e subcategorias, o que (STRAUSS; CORBIN, 1998) chamam de “codificação axial”, é o de colocá-las em uma tabela de dupla entrada para evidenciar os elementos de confronto conceituais e preencher de sentido os cruzamentos significativos. Buscou-se evidências na publicação científica nestes cruzamentos.

Ao final do processo executou-se uma comparação dos achados da interpretação de dados da metodologia Q e a codificação teórica da GT. O mais importante são as conclusões que podem dar conta de como os resultados da pesquisa podem dizer algo de concreto aos operadores (TAROZZI, 2011).

Utilizou-se um método único de coleta de dados e técnicas de análise estatística, e que mede atitudes (BROWN, 1996). A metodologia Q permite ao pesquisador obter uma maior compreensão dos indivíduos que permeiam as interações. É possível identificar as características desses indivíduos que compartilham pontos de vista comuns e medir arranjos de atitudes em um determinado momento ou medir mudanças de atitude ao longo do tempo (CORR, 2001).

Segundo (BARBALHO, Sanderson C.M.; DE TOLEDO; SILVA, 2019) é importante usar várias fontes de dados para obter resultados mais consistentes, portanto, esta pesquisa usou a seguinte abordagem nas diversas fases da pesquisa: revisão da literatura relevante; entrevistas semiestruturadas com especialistas do setor privado, governo e academia; entrevistas com formulário online entre especialistas do setor privado, governo e academia; codificação das afirmações com a equipe de pesquisa e validação do orientador (Tabela 1). A equipe deste trabalho contou com três pesquisadores, o autor e dois alunos de graduação, e a validação do orientador. A diversidade de perspectivas obtidas através dessa abordagem metodológica garantiu uma análise mais abrangente e fundamentada, proporcionando *insights* valiosos sobre a interação entre o setor automobilístico e as políticas públicas no contexto brasileiro.

A seleção do primeiro entrevistado baseou-se em critérios como experiência relevante no setor automobilístico, atuação direta em políticas públicas relacionadas ao setor e acessibilidade para a realização da entrevista. Esses critérios garantiram que o entrevistado tivesse uma visão abrangente e informada, contribuindo significativamente para a qualidade dos dados coletados.

Tabela 1: Resumo das etapas da pesquisa, perfil dos respondentes e técnicas de pesquisa.

Etapas da Pesquisa	Literatura Relevante	Entrevistas	Codificação	Validação
1 Revisão da literatura como descrito na Seção 2	Pesquisa - autor			
2 Desenvolvimento do pacote Q-sort		34 – Setor privado 17 - Governo 10 - Academia	3 Pesquisadores	1 Orientador

Etapas da Pesquisa	Literatura Relevante	Entrevistas	Codificação	Validação
3 Codificação inicial			3 Pesquisadores	1 Orientador
4 Administração do Q sort		16 – Setor privado 11 – Governo 7 - Academia 4 – Não identificados		
5 Codificação focalizada			3 Pesquisadores	1 Orientador
6 Análise dos dados			3 Pesquisadores	1 Orientador
7 Tabela de dupla entrada			1 Pesquisador (Autor)	1 Orientador
8 Codificação Teórica			3 Pesquisadores	1 Orientador
9 Interpretação dos fatores			3 Pesquisadores	1 Orientador
10 Relação dos achados nas duas metodologias			1 Pesquisador (Autor)	
11 Recomendações de uma Estratégia Nacional de EM (Seção 6)			1 Pesquisador (Autor)	
12 Validação das recomendações das ações de uma Estratégia Nacional de EM		4 – Governo 4 – Academia 6 – Setor Privado	1 Pesquisador (Autor)	1 Orientador

A Tabela 1 sintetiza, assim, as etapas realizadas na pesquisa desse trabalho, as etapas onde se deram as entrevistas, bem como a participação da equipe de pesquisa. Esta complementa a Figura 7 para um melhor entendimento das etapas realizadas.

Segundo (CORR, 2001) a metodologia Q apresenta quatro fases distintas, que são: desenvolvendo o pacote ‘*Q sort*’, administrando o ‘*Q sort*’, analisando os dados e interpretando os fatores.

Durante a revisão da literatura (seção 2) deparou-se com diversos documentos da *gray literature* e os considerou achados da fase de pesquisa e, assim, executou-se uma análise documental, que se encontram na seção 4.1 Análise Documental. De forma a descrever a metodologia de análise de documentos introduziu-se a seção 3.1 a seguir.

3.1. Análise de documentos

A análise de documentos pode ser tanto uma técnica de coleta e análise de dados quanto um método de pesquisa. (FISHER, 2006) *apud* (ARMSTRONG, 2022) define a análise documental como um procedimento sistemático para revisar ou avaliar documentos, tanto materiais impressos quanto eletrônicos. Como uma técnica de coleta e análise de dados, a análise de documentos envolve a coleta de dados de uma variedade de fontes escritas, como relatórios, formulários enviados por e-mails, livros, jornais e outros documentos. A análise de documentos é um procedimento sistemático para revisar ou avaliar documentos - tanto materiais impressos quanto eletrônicos (BOWEN, GLENN, 2009). Os dados são então analisados para identificar padrões, temas e insights que podem informar a pesquisa. Como método de pesquisa, a análise de documentos envolve o uso de documentos como fonte primária de dados para responder a questões de pesquisa ou testar hipóteses. Este método pode ser usado em uma ampla gama de campos.

Desta forma, a análise de documentos envolve o exame de documentos para identificar informações relevantes, extrair essas informações e analisá-las para tirar conclusões. Isso pode envolver uma variedade de técnicas, como análise de conteúdo, análise de discurso e análise temática, dependendo da questão de pesquisa e do tipo de dados que estão sendo analisados.

Conforme (WACH; WARD, 2013) a seleção de documentos para a Análise Documental Qualitativa foi guiada por considerações práticas e estratégicas, e cada um desses fatores teve um impacto nos tipos de documentos que foram eventualmente incluídos nas revisões e na gama de descobertas apresentadas.

3.2. Desenvolvimento do Pacote ‘Q sort’

O primeiro passo na metodologia Q é o desenvolvimento do pacote “Ordenamento Q” (Q sort). Este é um pacote de, idealmente, entre 40 e 80 afirmações (*statements*) relacionadas ao tópico de pesquisa (DENNIS, 1986). Essas declarações foram coletadas de especialistas em EM e todas as entrevistas foram gravadas com o consentimento dos entrevistados. Assim, partiu-se da pergunta de pesquisa para a coleta das declarações dos especialistas.

Essas declarações (*concourses*) podem ser geradas a partir de várias fontes, incluindo entrevistas preliminares com participantes potenciais, literatura relevante ou qualquer fonte que forneça informações e opiniões relacionadas com o estudo (BROWN, 1996). De acordo com (BARBOSA *et al.*, 1998), deve haver declarações suficientes com uma variedade de opiniões

para atender aos sentimentos subjetivos amplamente diferentes que os participantes podem ter sobre o tópico de pesquisa.

Os entrevistados foram devidamente anonimizados, mas indicados entre: universidade, empresa ou governo. Como (BROWN, 1980, p. 191), explicou:

"Na metodologia Q, o significado e a ênfase dos itens são determinados pelo sujeito, de modo que o observador adquira conhecimento de seu significado a posteriori, ou seja, depois que o sujeito os classificou".

Com o objetivo de reduzirmos essas afirmações para o pacote final de declarações (Q-sort) utilizou-se o método da Teoria Fundamentada em Dados, originalmente conhecida como “*Grounded Theory*” (GT), desenvolvida pelos autores clássicos (GLASER; STRAUSS, 1967). Neste trabalho utilizaremos o termo em inglês conforme utilizado por (TAROZZI, 2011). A GT possui natureza exploratória, permitindo a familiaridade com o problema com vistas a torná-lo mais explícito, aprimorando ideias e obtendo informações para uma investigação mais completa (PRIGOL; BEHRENS, 2019). A codificação, executada na fase da codificação inicial (3.3), dessas declarações dos entrevistados, foi analisada frase a frase, e utilizando-se o *software* Atlas Ti Cloud foram reduzidas a *concourses*, como veremos na fase seguinte.

A GT é utilizada, principalmente, quando o tópico de interesse ainda não foi previamente estudado ou é escassa a produção científica sobre ele. Esta apresenta as seguintes características metodológicas: (1) amostragem teórica, (2) análise comparativa constante dos dados, (3) elaboração de memorandos e (4) diferença entre teoria substantiva e teoria formal. A amostragem teórica é a coleta de dados com o objetivo de procurar lugares, pessoas ou eventos que potencializem a identificação de modificações entre conceitos, bem como o adensamento das categorias, suas propriedades e dimensões, conforme necessidade de informações identificadas no desenvolvimento da pesquisa (SANTOS, J. L. G. Dos *et al.*, 2019).

Assim, esta coleta de dados iniciou-se com pessoas consideradas pertinentes para responder à questão da pesquisa e aos objetivos da investigação. Utilizamos uma entrevista semiestruturada com os especialistas no tema com a pergunta – **Quais são as oportunidades e desafios para a eletromobilidade no Brasil?** Ao final das entrevistas foram solicitados aos entrevistados de 2 a 5 contatos para as próximas entrevistas em uma técnica de bola de neve (*snow ball*) (BALDIN; MUNHOZ, 2011; FRATE *et al.*, 2019). Este tipo de amostragem é

definido como uma técnica de amostragem não probabilística e é aplicado quando é difícil acessar assuntos com as características do objeto (NADERIFAR; GOLI; GHALJAIE, 2017). As entrevistas foram encerradas quando se chegou a 61 pessoas devido a saturação das respostas, ou seja, percebeu-se que as opiniões dos respondentes não eram novidade, já tendo sido citadas pelos respondentes anteriores.

Segundo (NADERIFAR; GOLI; GHALJAIE, 2017), a amostragem “snowball” é um método de amostragem de conveniência, que é um método não probabilístico que inclui membros da população que estão disponíveis para o pesquisador. Esse método é aplicado quando há dificuldade de acesso a sujeitos com as características-alvo, neste caso que tivessem conhecimentos específicos do tema da eletromobilidade. Nesse método, os sujeitos do estudo existentes recrutam futuros sujeitos entre seus conhecidos. A amostragem continua até a saturação dos dados. Em relação ao método de amostragem, a generalização dos achados para toda a população também não é clara, e não se pode calcular a taxa de erro na amostragem. As entrevistas terminaram quando a equipe de pesquisa assumiu que as falas dos entrevistados não acrescentavam mais nada de novo ao que foi dito, significando que havia “saturação”.

Com efeito, as entrevistas foram transcritas em suas principais opiniões, retirando frases literais, para identificar declarações (*concourses*) com base no equilíbrio entre os entrevistados e em um amplo espectro de visões. Essas declarações se baseavam em critérios de relevância, frequência e semelhanças. A amostra Q pode ser descrita como uma amostra dedutiva com base em considerações teóricas; no entanto, a teoria fundamentada na qual a amostra foi baseada foi desenvolvida indutivamente usando análise comparativa constante das entrevistas (SANTOS, J. L. G. Dos *et al.*, 2019). Além disso, uma revisão abrangente da literatura concluiu que esses elementos-chave, que foram fruto da codificação, têm amplo suporte da pesquisa. De acordo com (BROWN, 1980, p. 191) na metodologia Q:

“o objetivo é produzir um conjunto de 40 a 50 afirmações o mais abrangente possível, de modo a espelhar a gama de comentários que estão sendo dublados pelo público em geral”.

3.3. Codificação inicial

Para o presente trabalho utilizou-se a perspectiva construtivista de (CHARMAZ, 1990) que preconiza duas etapas principais de codificação: codificação inicial e codificação focalizada. Na codificação inicial, chamada de provisória, os dados são fragmentados e analisados com o objetivo de conceitualizar ideias ou significados expressos pelos

participantes, transformando-os em códigos. Já na segunda etapa da codificação focalizada, permite-se separar, classificar e sintetizar grandes quantidade de dados. Assim, os códigos elaborados são mais direcionados, seletivos e conceituais, pois devem sintetizar e explicar segmentos maiores de dados (CHARMAZ, 1990; KENNY; FOURIE, 2015).

Na análise dos dados na GT os dados coletados estão sendo constantemente comparados, o que é conhecido como análise comparativa constante. Os dados coletados são analisados palavra por palavra ou frase por frase, com o objetivo de gerar códigos conceituais. Esses códigos são agrupados em categorias, denotando conceitos de nível superior. Há, assim, uma comparação constante entre códigos com códigos, códigos com categorias emergentes e categorias com categorias (SANTOS, J. L. G. Dos *et al.*, 2019).

Assim que os conceitos começam a surgir por meio do processo de análise e comparação constante, mesmo durante a fase de pesquisas, há uma reflexão sobre os dados.

Segundo (GLASER; STRAUSS, 1967; apud SANTOS *et al.*, 2019) a GT é gerada a partir de um contexto específico que produz uma teoria aplicada somente ao campo investigado a qual é denominada substantiva, sem um estudo aprofundado necessário para a formulação da teoria formal. Entretanto, a teoria substantiva é o alicerce para uma teoria formal.

Desta forma reduziu-se as declarações dos respondentes, ou seja, suas opiniões, que foram transcritas frase a frase, que foram reunidos em códigos ou *statements*.

3.4. Administração do Q-Sort

O pacote de classificação Q, ou seja, o pacote final de declarações (Q-Sort), consiste em como um baralho de cartas com cada declaração (*statement*) em uma carta separada. Os participantes são solicitados a classificar as várias declarações, indicando o grau de concordância que eles colocam em cada uma das declarações, de 'mais discorda' através de 'neutro' a 'mais concordo' (BROWN, 2019; DENNIS, 1986). Stainton Rogers (1995) *apud* (CORR, 2001) sugeriu que era mais fácil, primeiro, separar as declarações em três títulos: 'discordo', 'neutro' e 'concordo'.

Para a aplicação do Q-Set foi utilizado o Q Method Software (<https://qmethodsoftware.com>), que teve 38 respondentes anônimos entre os 61 respondentes iniciais que responderam ao formulário *online*, sendo 7 da Academia (Universidades ou Instituição de Ciência e Tecnologia), 11 do Governo ou Agência Reguladora e 16 de Empresa ou Setor Privado e 4 que não foram identificados, pois não responderam a segunda fase da

A metodologia Q é baseada na crença de que este comportamento (atribuição de declarações) é uma expressão da subjetividade dos participantes (BARBOSA *et al.*, 1998).

Conforme (BROWN, 1971) sob condições de classificação forçada, sugeridas por (STEPHENSON, 1953), todas as declarações (*statements*) devem empregar toda a gama e aderir à mesma distribuição - geralmente quase normal e platicúrtica¹⁵ - em que um número fixo de itens deve ser colocado abaixo de + 4, um número fixo abaixo de +3 e assim por diante, resultando em médias iguais e desvios-padrão para todos os Q-sorts. Hess; Hink (1959) *apud* (BROWN, 1971) demonstram que as correlações entre os tipos livre e forçado não fornecem resultados surpreendentemente diferentes. (R. BROWN, 1993) descreve que para a distribuição Q-sort: se ela é forçada ou livre - e se forçada - não é crucial, desde que a pessoa possa representar seu ponto de vista na forma de uma classificação.

Na presente pesquisa, dois especialistas da população não se submeteram a metodologia forçada do método, por discordarem da escolha forçada do Q-sort. Assim, eles não entraram na lista dos 38 entrevistados e suas contribuições reforçaram a execução da pesquisa online por ser mais rápida e com um entendimento melhor sobre a classificação (concordo, discordo) definido pela ajuda do software (Q method software).

3.5. Codificação focalizada

Na presente pesquisa, tais reflexões advindas da fase de codificação inicial (3.3), foram transformadas em um *framework de análise inicial*, e contribuíram para registrar e ilustrar o desenvolvimento de ideias e códigos que auxiliaram no desenvolvimento da teoria. Assim, houve a substituição dos memorandos recomendados pela metodologia da GT pelo *framework*, mas que manteve o propósito.

Conforme (CEPELLOS; TONELLI, 2020) a amostragem teórica se desenvolve durante o processo de pesquisa. Ela é baseada nos conceitos que surgiram da análise e que parecem relevantes para a teoria (CORBIN; STRAUSS, 2008). Segundo (CHARMAZ, 1990), seu objetivo é buscar e reunir dados pertinentes para elaborar e refinar as categorias da teoria emergente. A amostragem teórica permite maximizar oportunidades de comparar fatos, incidentes ou acontecimentos para determinar como uma categoria varia em termos de suas propriedades e de suas dimensões (CEPELLOS; TONELLI, 2020; CHARMAZ, 1990;

¹⁵ Uma distribuição de frequência platicúrtica é quando apresenta uma medida de curtose (grau de “achatamento” da distribuição) menor que a distribuição normal (SANTOS, et al., 2016).

CORBIN; STRAUSS, 2008). Na amostragem inicial, o objetivo é gerar o máximo possível de categorias, e, depois, a amostragem se volta para o desenvolvimento dessas categorias (STRAUSS, Anselm; CORBIN, 2008).

Com efeito, executou-se a codificação focalizada, onde o pesquisador passa da descrição para a conceituação. Buscou-se, assim, recolher os conceitos em categorias e identificá-los em um nível mais elevado, interligando entre si as categorias e estas com suas propriedades (TAROZZI, 2011). Através da interligação dessas opiniões buscou-se identificar categorias, ou seja, conceitos mais amplos. Desse cruzamento impõem-se algumas categorias emergentes: meio ambiente, tecnologia, educação, ações governamentais e matriz energética, que foram identificados após entrevista com dois representantes da academia.

Com efeito, nessa fase buscou-se identificar essas categorias advindas da metodologia da GT, que foram efetivamente validadas após a fase de análise de dados (3.6) na fase da tabela de dupla entrada (3.7).

3.6. Análise dos dados

A análise dos dados coletados pela metodologia Q pode ser realizada por um pacote estatístico dedicado para metodologia Q chamado KADE (*Ken-Q Analysis Web Application*) (BANASICK, 2019). O KADE é um aplicativo de *desktop* para a análise de dados da metodologia Q que opera com funcionalidade total no sistema operacional Microsoft Windows. Possui uma interface gráfica de usuário que facilita o uso por estudantes ou por pesquisadores com experiência principalmente em métodos qualitativos (BANASICK, 2019).

O padrão de classificação (classificação Q) de cada participante é inserido no pacote estatístico. Em seguida, é analisado quanto ao seu significado. As classificações Q são correlacionadas para indicar as semelhanças dos pontos de vista dos participantes. Se todos os participantes classificarem as afirmações de maneira semelhante, o coeficiente de correlação será alto e apenas um fator (ponto de vista) será identificado. Normalmente, mais de um, mas até sete fatores (pontos de vista) são identificados nos estudos Q (DENNIS, 1986).

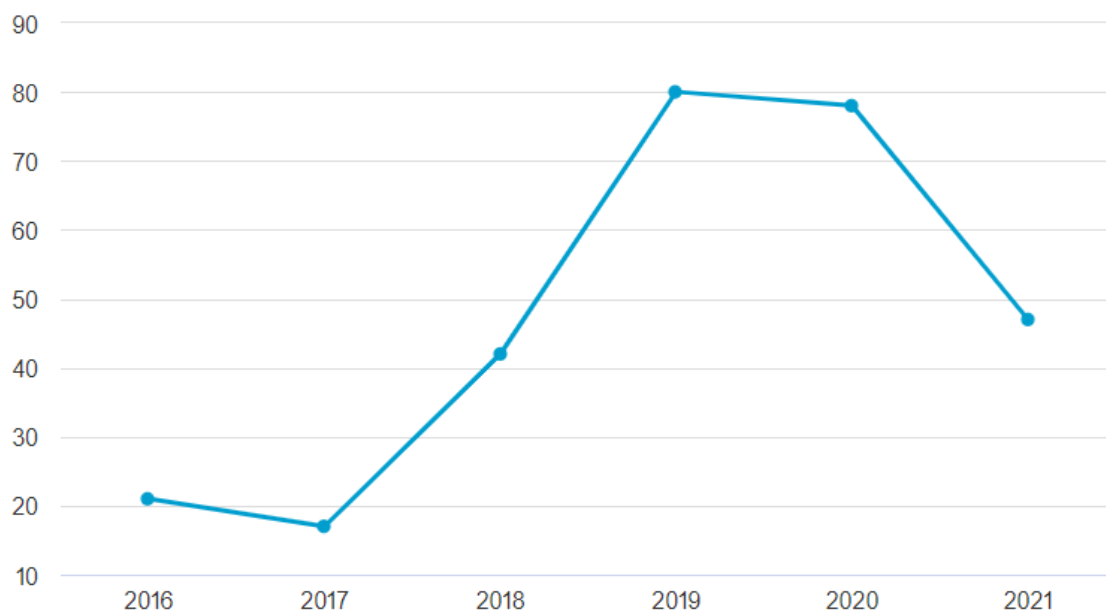
3.7. Tabela de dupla entrada

Apesar de ter havido uma revisão da literatura inicial (seção 2) para o trabalho, surgiu uma dúvida quanto ao rebatimento do *framework de análise inicial* resultante da metodologia empregada até o momento (fase 3.5), com a teoria relativa à EM. Pretende-se validar pela literatura científica as categorias estabelecidas no *framework de análise inicial*.

Segundo (ZHAO, 2018), a EM é uma abordagem favorável para transformar o transporte rodoviário, reduzindo as emissões de carbono e impulsionando mudanças na indústria automotiva. Este termo não é inteiramente novo, e seu componente central, carros elétricos urbanos, pode ser rastreado até 50 anos antes do primeiro veículo com motor de combustão interna movido a MCI. Os VEs, em princípio, parecem ter um caminho claro para acelerar o progresso tecnológico. O estudo realizado por (ZHAO, 2018), com uma coleção comparável de artigos de periódicos, foi conduzido para revisar o progresso global da pesquisa sobre mobilidade elétrica, integrando uma visão geral bibliométrica e *insights* sobre grupos de palavras-chave.

Assim, para validar o framework proposto efetuou-se uma busca na base de dados Scopus por palavras-chave, inspirados pelo trabalho de (ZHAO, 2018): ‘*electric vehicle**’ AND ‘*mobility*’ limitando-se a artigos e revisões ‘*open access*’ entre 2016 e o dia 09 de julho de 2021 chegando-se a um universo de 285 artigos, conforme Figura 9. Limitou-se aos últimos 5,5 anos a partir de 2016, devido ao número elevado de documentos iniciais (cerca de 2.192 documentos) e onde todos os 285 documentos amostrados foram lidos.

Figura 9: Documentos pesquisados da base Scopus por ano.



Fonte: O próprio autor.

A queda no número de documentos verificada no ano de 2021 deve-se ao fato que a pesquisa ocorreu em 9 de julho daquele ano.

Utilizou-se o software NVivo para uma análise de categorias de trechos desses artigos que foram devidamente registrados no Anexo 2 – Confronto entre os *statements* e as categorias da EM no Brasil (BONELLO; MEEHAN, 2019). Assim, de forma a evidenciar as relações entre categorias e categorias colocou-se nesta tabela de dupla entrada para evidenciar os elementos de confronto conceituais, não numéricos e preencher com a bibliografia encontrada os cruzamentos significativos.

3.8. Codificação teórica

O objetivo nesta fase da codificação foi de buscar a ‘*core category*’, que é um conceito-chave, uma categoria central que proporciona organizar o conjunto das categorias, que é a teoria e resultado da GT. Pretende-se oferecer uma interpretação integrada, capaz de dar sentido unitário às várias porções analíticas induzidas pelos dados através dos vários níveis de codificação. Isso se deu na definição de um *framework de análise final*.

Assim, as fases dessa codificação podem ser resumidas em quatro: pontuar as categorias, interligar as categorias entre si, identificar a categoria central e integrar e delimitar a teoria (TAROZZI, 2011). Aqui utilizou-se do *framework de análise inicial* utilizando-se dos 28 “*statements*” da codificação inicial e resultantes da primeira fase da metodologia Q, desenvolvimento do pacote “Q-sort” e integramos com a análise da fase da tabela de dupla entrada (3.7).

De forma a validarmos as categorias do *framework de análise inicial*, incluímos perguntas na pesquisa online (Q Method Software), onde tentamos identificar a categoria do respondente (setor privado, governo ou academia), seus anos de experiência no tema e sua opinião dirigida com as perguntas a seguir, que tiveram respostas de múltipla escolha. Não houve opção de livre resposta nessas perguntas.

- Quais são os fatores que mais contribuem para a EM no Brasil? Resposta de múltipla escolha:

Ações governamentais por meio de incentivos fiscais e regulamentações

Avanços tecnológicos como hibridização veicular, custo menor de baterias e tempo menor de carregamento

Matriz energética mais limpa e com a eficiência dos veículos

Cadeia Produtiva com o parque tecnológico nacional e a cadeia de minerais estratégicos

Meio ambiente com menor poluição aérea que contribui com a saúde

Educação com a requalificação de profissionais

- Qual é a melhor estratégia de introdução da EM no Brasil? Resposta de múltipla escolha:

Nas cidades com transporte de qualidade em ônibus, trólebus e VLT elétricos

Com o uso de frotas de caminhões leves de entrega nas cidades

Regulamentação para redução progressiva do uso de combustíveis fósseis nas cidades

Utilizando levíssimos (motocicletas, bikes e patinetes elétricas)

Incentivos fiscais governamentais para reduzir o investimento na compra

Por meio da hibridização veicular (HEV ou PHEV) utilizando etanol/energia

Maior oferta de modelos de veículos elétricos (pesados, leves e levíssimos)

Desenvolvendo tecnologias inovadoras de baterias de menor custo e menor tempo de recarga

Difundindo a cultura de compartilhamento de veículos elétricos

Infraestrutura adequada de eletropostos em rodovias

- Qual deve ser o papel do Governo no desenho da EM? Resposta de múltipla escolha:

Promover a pesquisa, desenvolvimento tecnológico e a inovação nas indústrias e Instituições de Ciência e Tecnologia

Liderança no ecossistema da eletromobilidade (indústria, academia e governos locais e regionais)

Promover incentivos fiscais para compradores e indústrias de veículos elétricos

Promover compras públicas direcionadas para o uso da eletromobilidade

Promover melhor infraestrutura de eletropostos nas rodovias federais

3.9. Interpretação dos dados

A etapa final de um estudo metodológico Q é interpretar os fatores que surgiram. Isso é conseguido procurando padrões interessantes ao comparar e contrastar o posicionamento das declarações em cada fator. Teoria, pesquisa anterior e conhecimento cultural podem auxiliar na interpretação (CORR, 2001). Nesse estágio, os fatores geralmente recebem rótulos que melhor descrevem os padrões das afirmações no fator fornecido. (MATOS; RODRIGUES, 2019) relatam que não existe um único critério consensual para determinar quantos fatores devemos extrair. Os autores sugerem três principais métodos conforme a literatura: critério do autovalor (eigenvalue); critério do diagrama de inclinação (*Screen test*); e, critério da porcentagem de

variância acumulada. Os fatores foram selecionados com base nos valores de seu autovalor (*eigenvalue*) excedendo a 1,0 e que teve uma variância acumulada superando a 50%, no caso específico de 52%.

A seleção do número de fatores extraídos não segue regras rígidas. Assim, no primeiro critério, que é principalmente decidido com base nos autovalores (*eigenvalues*) e os número de classificações Q que carregam em cada fator. Como regra geral, um fator é extraído se atender a dois requisitos:

a) *eigenvalue* maior que 1,00 e

b) ter pelo menos duas classificações Q que carregam significativa e exclusivamente sobre ele (WATTS; STENNER, 2005).

Assim, conforme (MATOS; RODRIGUES, 2019), como princípio básico da análise fatorial, devemos reter apenas fatores com autovalores grandes. Nesse sentido, existe uma regra bastante utilizada (critério de Kaiser) que sugere que devemos extrair somente os fatores com autovalor maior do que 1.

Naturalmente, quanto maior o número de fatores, menor o número de Q sorts que serão carregados significativamente nesses fatores, o que resulta em menos heterogeneidade entre os fatores (KOUGIAS *et al.*, 2020).

O segundo critério, segundo (MATOS; RODRIGUES, 2019) é o diagrama de declividade (*Scree test*), que é um gráfico dos autovalores (*eigenvalues*) (eixo-y) e seus fatores associados (eixo-x). Pode-se obter um fator para cada uma das variáveis existentes, e cada uma tem um autovalor associado. Se representarmos em um gráfico os autovalores, a importância de cada um deles fica bastante evidente. Nesse sentido, sempre temos alguns fatores com autovalores maiores e muitos fatores com autovalores considerados menores. Portanto, esse gráfico tem um formato bem característico: uma inclinação bastante acentuada na curva seguida de uma cauda praticamente horizontal. Os fatores que caracterizam a queda acentuada são escolhidos, enquanto os relativos à cauda, com autovalores menores, são descartados.

O terceiro critério, segundo (MATOS; RODRIGUES, 2019), é a porcentagem de variância acumulada para definir a quantidade de fatores que devemos extrair. Nesse método, a extração dos fatores continua até que um patamar específico seja obtido. No caso específico foi de 52% que proporcionou significância.

Nessa pesquisa utilizou-se o primeiro critério associado ao terceiro critério, chegando-se a sete fatores identificados. Um exercício com menos fatores foi executado (4), mas a porcentagem de variância acumulada foi muito baixa (36%). O segundo critério (*Scree test*) foi utilizado para demonstrar que não houve destaque para um possível número menor de fatores.

Nesta fase, buscou-se executar uma comparação—com os resultados da teoria central (*core category*) fruto da validação da codificação focalizada da GT (TAROZZI, 2011).

3.10. Relação dos achados nas duas metodologias

Executamos uma comparação dos achados encontrados na Metodologia Q com os encontrados na GT. O grupo de pesquisa formado, conforme a Tabela 1, discutiu quando da codificação inicial quais seriam os desafios e as oportunidades, que podem ser encarados como dois lados de uma mesma moeda. Por exemplo, um especialista em fabricação de baterias pode posicionar-se na “cadeia produtiva nacional” como uma oportunidade e não como um desafio. Outro especialista, fabricante de cilindros para motores de combustão interna, poderá se posicionar nessa opinião como um desafio visto o futuro da EM. Entretanto, nossas referências em artigos que citam “oportunidades” e “desafios” como em (KUANG *et al.*, 2019; LIU, Chunhua *et al.*, 2013; LIU, Yayuan; ZHU; CUI, 2019), não há uma necessidade de posicionar as “duas caras desta moeda”, mas apenas posicionar-se por uma posição.

3.11. Recomendações de uma Estratégia Nacional para a Eletromobilidade

No capítulo 5, Recomendações de uma Estratégia Nacional da EM, executamos uma série de recomendações para uma política pública que promova a EM. A estruturação foi feita a partir dos sete fatores encontrados na metodologia Q e com a proposição de ações formam os eixos estratégicos. Considerou-se que a metodologia Q, que utiliza uma fase qualitativa e outra quantitativa, sintetiza melhor as opiniões dos respondentes iniciais.

A pesquisa sobre a relevância de uma estratégia nacional de eletromobilidade foi conduzida com base em diversos fatores que destacam a necessidade de políticas governamentais específicas para o setor no Brasil. Inicialmente, foi analisada a dependência brasileira de combustíveis fósseis importados, especialmente no transporte de carga, e como essa dependência impacta tanto as emissões de carbono do país quanto o déficit comercial. O estudo considerou como a EM, ao utilizar VEs alimentados por fontes renováveis de energia, pode contribuir para a redução dessa dependência e aumentar a segurança energética.

Outro aspecto explorado na pesquisa foi a contribuição do setor de transporte para as emissões de GEE no Brasil. O estudo investigou o potencial da EM para reduzir essas emissões ao substituir veículos movidos a gasolina e diesel por veículos elétricos, que não emitem poluentes pelo escapamento. Além disso, a pesquisa abordou as oportunidades econômicas que a EM pode oferecer, como a criação de empregos na fabricação e manutenção de VEs e o desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos doméstica para baterias e outros componentes. Foram analisadas também as implicações para a saúde pública, com foco nos benefícios de uma qualidade do ar melhorada e na redução de doenças respiratórias devido à diminuição dos poluentes emitidos por motores de combustão. Por fim, o estudo considerou os compromissos internacionais do Brasil, especialmente no contexto do Acordo de Paris, e como uma estratégia nacional de EM pode apoiar o cumprimento desses compromissos e reforçar o compromisso do país com o desenvolvimento sustentável.

No geral, uma estratégia nacional de EM pode ajudar o Brasil a alcançar múltiplos objetivos políticos relacionados à segurança energética, crescimento econômico, sustentabilidade ambiental e saúde pública. Ao promover o desenvolvimento e a adoção de VEs, o Brasil pode se posicionar como líder na transição global para uma economia de baixo carbono.

3.12. Validação das recomendações de uma Estratégia Nacional de EM

De forma a validarmos essas ações estabelecidas nas recomendações de um Estratégia Nacional da EM, foram realizadas entre o dia 21 de setembro de 2022 e 16 de dezembro de 2022, 13 entrevistas com 14 pessoas. Os principais pontos relatados pelos entrevistados foram colocados em uma tabela no Anexo 3 – Recomendações das entrevistas de validação (*bullet points*). Uma das entrevistas teve duas pessoas respondendo que se identificaram com o perfil de governo. O contato inicial dos entrevistados foi originado por meio: do Comitê de Ciência e Tecnologia da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), do professor orientador e, da 7ª MOSTRA BID (Mostra da Base Industrial de Defesa), feira realizada em Brasília de 6 a 8 de dezembro de 2022, conforme a sequência demonstrada na Figura 10.

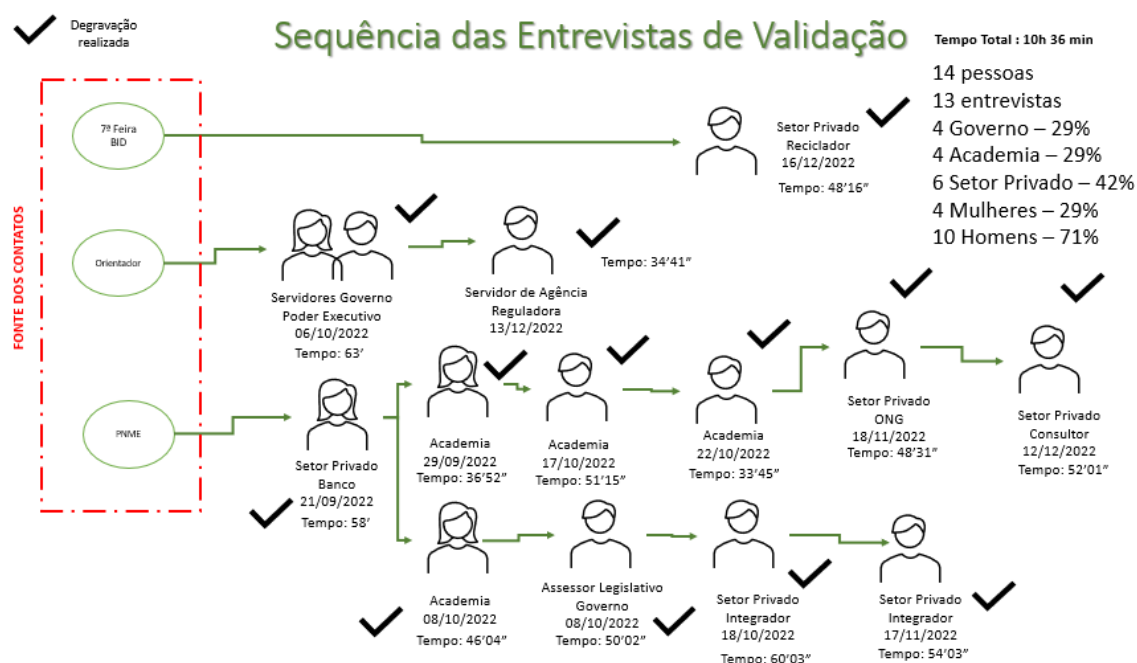
A partir desses contatos utilizamos a técnica do “*snowball sampling*”, onde o entrevistado recomenda o próximo especialista a ser entrevistado. O material foi anonimizado e desgravado em 10 horas e 36 minutos de entrevistas. As conclusões foram incorporadas ao material prévio proposto na qualificação dessa tese. Essa amostra de entrevistados foi distribuída conforme a Tabela 2. As entrevistas, na sequência da Figura 10, se encerraram

quando se iniciou a identificação da saturação de assuntos que já haviam sido anteriormente comentados.

Tabela 2: Validação das ações por meio de entrevistas

Número Entrevistados	Categoria	Percentual (%)
4	Governo	28,6
4	Academia	28,6
6	Setor Privado	42,8

Figura 10: Sequência das entrevistas de validação.



Fonte: o próprio autor.

Os 13 respondentes concordaram com os achados dos eixos estratégicos, que coincidem com os fatores encontrados na metodologia Q, e estes recomendaram alguns comentários que foram, então, adicionados, conforme o Anexo 3. As entrevistas foram feitas presencialmente ou virtualmente, onde lia-se os eixos estratégicos e suas ações e coletava-se os comentários dos respondentes. Esses comentários em sua maioria foram aproveitados para consolidar as ações propostas.

4. RESULTADOS DA ANÁLISE DA EM NO BRASIL

5.1. Análise documental

4.1.1. Histórico da evolução dos incentivos à EM no Brasil

Ao realizar uma análise documental sobre EM no Brasil, pode-se reunir informações sobre políticas e regulamentações governamentais relacionadas a VEs, o estado atual da infraestrutura para carregamento de VEs, tendências e desenvolvimentos na indústria automotiva e atitudes do público em relação aos VEs. Essas informações podem ser úteis para identificar barreiras e oportunidades para o crescimento dos veículos elétricos no Brasil. No geral, a realização de uma análise documental pode ajudar a fornecer uma compreensão abrangente do estado atual e do potencial da EM no Brasil, o que pode ser útil para formuladores de políticas, partes interessadas do setor e pesquisadores interessados no tema.

Com vistas a verificar os obstáculos à intersectorialidade na implementação e na gestão de políticas públicas da EM no Brasil necessitamos fazer um breve histórico de sua evolução recente nos órgãos estatais utilizando-se da análise documental.

Em 2017 o Governo brasileiro, por meio do então Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), iniciou um projeto de cooperação técnica com o título de Sistemas de Propulsão Eficiente (PROMOB-e). O projeto, encerrado em 2020, foi executado em parceria com o Ministério Alemão da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (*Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung*, BMZ) atuando por meio da Agência Alemã para Cooperação Internacional GIZ (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*, GIZ) com o objetivo de fortalecer as condições para a consolidação da mobilidade elétrica no Brasil (GIZ, 2020). O projeto de cooperação teve como objetivo de auxiliar o governo brasileiro na formulação de políticas públicas que estimulassem a adoção de sistemas de propulsão mais eficientes. O foco do projeto foi em políticas públicas, normas e regulamentação e, modelos de negócio inovadores.

Quando o PROMOB-e terminou, surgiu um espaço de convergência de objetivos e alinhamento de expectativas com a temática denominada Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME, www.pnme.org.br), sendo um esforço conjunto de importantes atores do Governo, da Indústria, da Academia e da Sociedade Civil, como um espaço para a construção de metas de longo prazo para a mobilidade elétrica no Brasil. Esta iniciativa permanece, mas sem nenhuma formalidade.

No ambiente dessa cooperação, ocorreu a aprovação pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) da Resolução Normativa nº 819, de 19 de junho de 2018, que estabelece os procedimento e condições para a realização de atividades de recarga de VE, sendo a primeira regulamentação na prestação desse serviço (ANEEL, 2018b). Essa norma foi revogada posteriormente, com a aprovação da nova Resolução Normativa nº 1.000/2021 (BRASIL/ANEEL, 2021), que consolida os direitos e deveres dos consumidores de energia elétrica e estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. A ANEEL optou, assim, por uma regulamentação mínima do tema, com o objetivo principal de evitar interferências indesejáveis na operação da rede elétrica e garantir que as tarifas dos consumidores de energia elétrica das distribuidoras não sejam impactadas pela prestação do serviço de recarga de veículos elétricos, quando realizado por essas distribuidoras.

Neste período, estudos sobre o estado da arte em redes de mobilidade elétrica foram produzidos pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) como suporte ao MDIC na tentativa de elaboração de um Plano Nacional de Eletromobilidade com vistas à estruturação da “REDE DE INOVAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO- RISE”: Estudo de Governança e Políticas Públicas para VE (CONSONI, Flávia Luciane *et al.*, 2018), *Roadmap Tecnológico para VE Leves no Brasil* (CONSONI, Flávia L. *et al.*, 2019) e *Eletromobilidade no transporte coletivo: o caso da cidade de São Paulo* (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019).

Em 2018, a ANEEL lançou uma chamada pública de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) estratégico de nº22/2018: “Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente” (ANEEL, 2018a). Em setembro de 2019, 30 projetos foram aprovados totalizando R\$ 468 milhões. Alguns desses projetos propiciaram infraestrutura de carregamento para VE.

Mais recentemente, (BARASSA; CRUZ; MORAES, 2021) elaboram o 1º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica com o apoio da PNME, objetivando conectar todo o esforço da Mobilidade Elétrica para a agenda climática e o transporte de baixo carbono no país. Os autores refletem sobre alguns aspectos das motivações e alavancadores que reestabeleceram a mobilidade elétrica como trajetória tecnológica viável à indústria automotiva de maneira geral: a segurança energética, a agenda ambiental, a saúde pública, o novo ecossistema de inovação da mobilidade elétrica e a modernização do transporte público. O relatório faz uma revisão das principais políticas públicas a nível federal, estadual e municipal e, de instrumentos de fomento governamental. O 2º Anuário foi lançado em 2022 dando continuidade ao projeto anterior e trazendo atualização ao texto (BARASSA *et al.*, 2022). O 3º Anuário foi lançado em 2023 e

agora, em dezembro de 2024, foi publicado o 4º Anuário (ANGELO; ANA CAROLINA MAIA *et al.*, 2024).

Uma das iniciativas, também recente, ocorreu por meio do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), pela Secretaria Nacional de Mobilidade e Desenvolvimento Regional e Urbano, em conjunto com o Banco Interamericano de Desenvolvimento, com apoio do *Global Environment Facility* (GEF), que apresentou a Série “Mobilidade Urbana de Baixo Carbono”, formada por seis cadernos, com o intuito de servir como instrumento de orientação e apoio ao poder público no sentido de promover aspectos essenciais da mobilidade urbana no Brasil (BID; MDR, 2021). O objetivo central é fomentar uma mobilidade urbana mais sustentável, em consonância com os preceitos da Política Nacional de Mobilidade Urbana e, como consequência, obter os benefícios socioeconômicos decorrentes da sua implantação, como a redução de GEE e de poluentes locais e a efetiva melhoria da qualidade de vida da população.

Em maio de 2021 houve a contratação do “Projeto de Transição para a Eletromobilidade nas Cidades Brasileiras” – resultado do compromisso celebrado no Acordo de Doação (TF0A9650 *Grant Agreement*) entre o Banco Mundial e o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS), com recursos de doação do CTF - *Clean Technology Fund* (IABS, 2021). O Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) foi o principal beneficiário do projeto que apoiou a sua implementação e resguardará o alinhamento com as políticas governamentais.

Nos incentivos fiscais, o novo regime automotivo brasileiro, o Rota 2030 – Mobilidade e Logística, aprovado em dezembro de 2018, confirmou o corte do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) dos veículos elétricos e híbridos (BRASIL, 2018; CLARO JUNIOR; SANTOS, 2020). Os carros elétricos movidos a bateria e a células de combustível de hidrogênio vendidos no país não pagam o imposto de importação e tem a alíquota de IPI reduzida para 7%. A isenção do IPI e do Imposto sobre Operações Financeiras (IOF) para aquisição do VE é válida para taxistas e pessoas com deficiência.

No entanto, importar um VE está mais caro a partir de 1º de julho de 2024. O reajuste estava definido no cronograma do governo federal, com o objetivo de incentivar a produção de VEs no Brasil e atrair investimentos para o setor. Para os elétricos, a alíquota do imposto de importação passa de 10% para 18%, subindo para 25% em um ano e atingindo 35% a partir de julho de 2026. No caso dos HEVs, a alíquota passa para 25% agora, vai a 30% em julho do ano

seguinte e alcança 35% em julho de 2026. Já os automóveis PHEVs têm alíquota de 20% a partir de julho de 2024, que sobe para 28% em julho de 2025 e atinge 35% em julho de 2026. Para VEs de transporte de carga ou caminhões elétricos, o imposto é fixado em 35% a partir de julho de 2024, com o governo justificando que há produção nacional suficiente neste segmento.

Alguns estados brasileiros como Maranhão, Paraná, Pernambuco, Piauí, Sergipe, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte e o Distrito Federal dão isenção total do Imposto sobre Propriedade Veicular Automotiva (IPVA) para carros elétricos e híbridos. Outros estados como Ceará, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro, dão isenção parcial com regras específicas (SCHAUN, 2020).

Conclui-se que apesar há uma série de incentivos à EM e há uma concordância relativa aos incentivos fiscais, que parece estar embasada no fato que alguns governos ao redor do mundo introduziram tipos de políticas de incentivo, como subsídios, isenção de impostos e política regulatória de transporte para promover a mobilidade elétrica (LIEVEN, 2015). Entre os fatores de impacto, o subsídio governamental é considerado um método importante para ajustar a estratégia de produção dos fabricantes de VE e muitos países, como os Estados Unidos e a China, forneceram subsídios consideráveis e créditos fiscais para a indústria ou o consumidor de VE para promover o mercado de VE (GU; LIU; QING, 2017). Assim, os incentivos dados pelo governo brasileiro ainda são considerados tímidos frente aos proporcionados por outros países.

5.1.2. Hidrogênio

Já no desenvolvimento tecnológico, a rota tecnológica das células a combustível, seja do tipo óxido sólido (SOFC) ou do tipo membrana polimérica (PEM), foram considerados como prioritários dos investimentos em P&D nas rotas tecnológicas abordadas como portadores de futuro por especialistas brasileiros (CGEE, 2017). Investimentos em curso na produção de hidrogênio verde no Complexo de Pecém no Ceará sustentam que esta é uma tecnologia potencial para um futuro próximo. Some-se ao fato do lançamento da primeira molécula de Hidrogênio Verde (H2V) produzida no Ceará e no país. Essa é a primeira etapa estratégica do desenvolvimento do projeto piloto de H2V no Complexo Termelétrico do Pecém (UTE Pecém), em São Gonçalo do Amarante, que tem à frente a EDP Brasil e parceiras estratégicas (SEINFRA CEARÁ, 2023).

Os VEs com célula de combustível (FCEVs) usam células de combustível de hidrogênio para gerar eletricidade, que alimenta o motor elétrico do veículo. As únicas emissões dos FCEVs são água e calor, tornando-os um veículo de emissão zero e permitem que o

reabastecimento seja mais rápido que os BEV. Entretanto, (LEE, Y.; KIM; LEE, 2021) ressaltam que a aceitação pública das estações H2, em função da percepção de risco em relação à segurança, é considerada um fator crítico fator no sucesso dos FCEVs e na economia geral de hidrogênio, como relatado por (ONO; KATO; TSUNEMI, 2019).

4.1.3. Biocombustíveis

Quanto ao uso dos biocombustíveis (biomassa) como fonte energética na matriz elétrica (BARASSA *et al.*, 2022, p. 7) no 2º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica nos alerta:

“A inércia em se posicionar nesta rota eletrificada pode ter implicações negativas para o país, com a ameaça de perda de mercados para exportação, e da não incorporação da engenharia automotiva brasileira nas redes de desenvolvimento de produtos liderados pelos centros globais de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P, D&I).”

Os biocombustíveis, especificamente a biomassa, podem desempenhar um papel importante na matriz elétrica brasileira à medida que o país transita para fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Aqui estão algumas maneiras possíveis de os biocombustíveis serem usados como fonte de energia no Brasil:

1. Co-incineração com combustíveis fósseis: Uma opção é misturar biomassa com combustíveis fósseis tradicionais em usinas a carvão para criar uma fonte de energia mais sustentável. Essa pode ser uma maneira relativamente barata de reduzir as emissões de carbono e utilizar a infraestrutura existente (RONI *et al.*, 2017).
2. Usinas de energia de biomassa dedicadas: Outra opção é construir usinas de energia de biomassa dedicadas que usam a energia da biomassa diretamente para gerar eletricidade. Essa pode ser uma opção mais cara, mas tem o potencial de ser mais eficiente e produzir menos emissões do que a queima conjunta (MERZIC *et al.*, 2022).
3. Biogás de resíduos: o Brasil possui uma grande indústria agrícola, que gera uma quantidade significativa de resíduos orgânicos. Este resíduo pode ser usado para criar biogás através da digestão anaeróbica, que pode ser queimado para gerar eletricidade (KHANAL; NINDHIA; NITAYAVARDHANA, 2019).

4. Biocombustíveis para transporte: o Brasil já é líder mundial no uso de biocombustíveis para transporte, principalmente na forma de etanol de cana-de-açúcar. Esta indústria poderia ser expandida para fornecer biocombustíveis adicionais para geração de energia, como por meio do uso de biogás ou outras fontes de biomassa (HIRA; DE OLIVEIRA, 2009).

Independentemente da abordagem específica, será importante para o Brasil considerar cuidadosamente a sustentabilidade e o impacto ambiental de qualquer fonte de energia baseada em biomassa. Isso pode incluir garantir que a biomassa seja obtida de forma responsável, que o uso da terra seja gerenciado de forma sustentável e que as emissões sejam minimizadas durante todo o ciclo de vida da fonte de energia.

4.1.4. Regulamentação local

Por fim, a questão da regulamentação local para redução progressiva do uso de combustíveis fósseis nas cidades está mais bem embasada na Lei do Clima da cidade de São Paulo (Lei Municipal nº 14.933/2009). São Paulo foi assim pioneira na elaboração de uma política municipal de combate às mudanças climáticas. Esta estabeleceu como meta a redução de 30% das emissões para os próximos quatro anos. Também propôs a redução progressiva do uso de combustíveis fósseis, adotando meta progressiva de redução de 10% ao ano, com o uso de combustível renovável não fóssil pelos ônibus do sistema de transporte público. Para chegar à meta de redução de 30% das emissões, a proposta aponta estratégias que incluem, na área de transportes, a priorização dos coletivos, estímulo ao uso de meios de transporte com menor potencial poluidor, priorização do uso dos trólebus, metrô, trem e outros meios de transporte utilizadores de energia renovável. O monitoramento e armazenamento de cargas privilegiando o horário noturno, a implantação de corredores de ônibus, programas e incentivos para carona solidária e transporte compartilhado e a continuidade do Programa de Inspeção Ambiental Veicular (SP, 2021). Conforme (RAMIRES; MELLO-THÉRY, 2018) houve iniciativas bem-sucedidas, como o programa de inspeção de veículos movidos a biodiesel e veículos de transporte, porém foram prejudicadas pelos governos subsequentes, expondo que os riscos socioambientais oriundos das mudanças do clima não foram totalmente internalizados pelo governo.

A boa notícia é que a Prefeitura de São Paulo visando o cumprimento da Lei de Mudanças Climáticas e a redução da emissão de poluentes na cidade, determinou que somente ônibus movidos a tecnologias sustentáveis poderão ser incluídos para operar no sistema de

transportes da cidade a partir de outubro de 2022. Assim, as concessionárias não poderão mais comprar ônibus movidos a diesel, somente com tecnologias que atendam o cronograma de redução de emissão de poluentes. A medida está alinhada com a meta da gestão municipal de ter 20% da frota da cidade composta por veículos 100% elétricos até 2024 (SÃO PAULO, 2022). Entretanto, essa iniciativa positiva foi abalada por uma notícia no final de 2024. A Assembleia Legislativa de São Paulo aprovou uma medida que isenta do IPVA apenas HEVs flex e movidos a hidrogênio entre 2025 e 2026, excluindo os modelos BEVs. Essa decisão gerou críticas por sua falta de isonomia e por aparentemente contrariar os objetivos de eficiência energética e melhoria da saúde pública. Especialistas apontam que a exclusão dos BEVs pode comprometer os esforços para reduzir as emissões de poluentes, considerando que esses veículos são fundamentais para uma transição mais limpa e sustentável no setor de transportes.

De acordo com os resultados da análise documental, é evidente que várias publicações sugerem a necessidade de o país estabelecer uma rota tecnológica e desenvolver um novo setor econômico ainda não explorado, cuja liderança ainda não está completamente consolidada. A introdução da mobilidade elétrica pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento do país, impulsionando sua reindustrialização e estabelecendo uma nova abordagem de mobilidade. Além disso, a adoção da mobilidade elétrica pode levar ao aproveitamento mais eficiente dos recursos naturais e humanos disponíveis, contribuindo para a redução das emissões de GEE e para o cumprimento dos compromissos estabelecidos no INDC (Contribuição Nacionalmente Determinada).

4.2. Desenvolvimento do pacote “*Q sort*”

Esse trabalho partiu de 856 afirmações, resultado das entrevistas dos especialistas identificados entre governo, academia e empresas entre 06 de março de 2020 e 18 de maio de 2020, que responderam à pergunta da pesquisa.

Após a análise da desgravação, estas opiniões foram anonimizadas, preservando a identidade dos entrevistados. O perfil dos entrevistados foi de 56% (34) pertencentes ao setor privado, incluindo as principais empresas montadoras nacionais, 16% (10) pertencentes à Academia e Instituições de Ciência e Tecnologia, notadamente Universidades Federais e Estaduais, e 28% (17) do Governo, envolvendo órgãos do governo federal e municipal. A seguir a Tabela 3, informa o vínculo dos entrevistados dentro das macro categorias: academia, governo e setor privado.

Tabela 3: Vínculo dos entrevistados dentro das macro categorias.

Academia	10
Estadual	2
Federal	2
Privada	6
Governo	17
Agência Desenvolvimento	3
Agência Reguladora	1
Banco Fomento	2
Centro de Tecnologia	1
Estadual	1
Federal	7
Geradora Energia	1
Logística (Correios)	1
Setor Privado	34
1° Tier (Fornecedores)	6
3° Setor ¹⁶	3
Associação Industrial	2
Banco Fomento	1
Consultor	5
Distribuidora Energia	2
Empresário	1
Geradora Energia	1
Levíssimos	4
OEM (Montadoras)	9
Total Geral	61

A Tabela 3, assim, qualifica os respondentes da pesquisa por meio da identificação de seu setor e o número de respondentes entrevistados. Destaca-se a participação de especialistas do setor privado (34) onde boa parte (9) de especialistas das OEMs do país foram entrevistados.

Iniciou-se os contatos dos entrevistados pela relação que o autor já possuía contatos dentro do Governo Federal devido sua participação no Programa Rota 2030. Solicitou-se aos entrevistados de três a cinco especialistas que tinham conhecimento no tema, segundo a visão destes, e que poderiam contribuir em uma técnica de amostragem “*snowball*”.

4.3. Codificação inicial

Assim, conforme a Tabela 1, executou-se uma análise qualitativa das declarações e opiniões das entrevistas semiestruturadas, utilizando a ferramenta Atlas TI Cloud para executar

¹⁶ Iniciativa privada de utilidade pública com origem na sociedade civil.

a análise qualitativa e se executar uma codificação das principais opiniões (Q Set) (SOUZA, Z. A. De; BELLOCHIO, 2019).

Após a desgravação de mais de 37 horas de registro, chegou-se a 856 declarações (*concourses*), que foram resumidas, utilizando a etapa da codificação inicial da GT, em 28 principais códigos (*statements*), a seguir demonstrados (Tabela 4). Esta fase de codificação foi intensa, com diversas reuniões entre os três pesquisadores junto com o orientador, tentando organizar os *concourses*. Para facilitar esta tarefa, foi realizado um detalhamento da opinião por meio de um pequeno texto de duas a três frases, para melhor descrever as opiniões dos entrevistados. Descreve-se cada uma das 28 principais opiniões na Tabela 4 a seguir, que foi ordenada pela frequência de afirmações (*concourses*) da entrevista semiestruturada. Chegou-se ao final onde, discutiu-se a opção de reduzir o número de *concourses*, retirando aquele menos representativos (os últimos dois), o que facilitaria a fase seguinte da pesquisa, ou seja, a administração do *Q sort*, com a segunda fase de entrevistas (fase online). Mas, ao final, resolveu-se manter todos eles, pois considerou-se que os levíssimos seria um *statement* importante para ser avaliado.

Houve uma classificação de cada *concourse* pela equipe de pesquisa em desafio ou oportunidade. Desafio entra no sentido de situação ou grande problema a ser vencido ou superado. Já oportunidade é citada como um acontecimento que é capaz de melhorar o estado atual ou uma situação nova que traga benefícios à introdução da eletromobilidade no Brasil.

Tabela 4: Q Set de Eletromobilidade

Item	Opinião (<i>Statement</i>)	Detalhamento	Nº Concourses	%
01	O investimento (custo) em Veículos Elétricos é um desafio	O custo de aquisição (CAPEX) de veículos puramente elétricos é bastante elevado quando comparado aos veículos a combustão. Os custos relativos às baterias, apesar de estarem em queda, ainda são altos. Assim, a entrada desses se dará inicialmente através dos segmentos de luxo.	70	8,18
02	Cadeia Produtiva Nacional ameaçada	A eletromobilidade demanda uma reestruturação da cadeia produtiva nacional, visto que atualmente o país depende exclusivamente de importações. Além disso, os veículos elétricos necessitam de menos componentes e apresentam custos menores de manutenção, o que representa uma ameaça à cadeia existente.	62	7,24

Item	Opinião (<i>Statement</i>)	Detalhamento	Nº Concursos	%
03	A preocupação com o meio ambiente é uma oportunidade	A sustentabilidade aliada à redução de emissões de gases de efeito estufa e a maior utilização de energias renováveis é um tema cada vez mais relevante no mundo.	59	6,89
04	Hibridização como estágio inicial da eletromobilidade	No Brasil a eletrificação se dará inicialmente pelos veículos híbridos (HEV e PHEV), que facilita a instalação gradual de uma infraestrutura de eletropostos. Os veículos híbridos poderão utilizar o etanol como combustível. O custo do investimento (CAPEX) é menor que os veículos a bateria (BEV).	51	5,96
05	Regulamentação/Leis/Normas são ainda insuficientes	As resoluções normativas são insuficientes para garantir os investimentos na eletromobilidade. A eletromobilidade tem baixa representatividade junto ao poder legislativo.	47	5,49
06	Infraestrutura de eletropostos é um desafio	Um país continental como o Brasil seria preciso uma grande rede de eletropostos capilarizados principalmente nas rodovias, que resulta num alto custo. A infraestrutura de recarga deve buscar investimentos privados.	45	5,26
07	Baterias elétricas como desafio.	A autonomia, a segunda vida, bem como os processos de reciclagem ainda são desafios tecnológicos.	43	5,02
08	Indústria automobilística como oportunidade	A indústria automobilística tem um parque industrial consolidado no país tornando-a um diferencial competitivo para a conversão do portfólio em direção à eletrificação. Essa transição será lenta, já que demanda grandes investimentos e depende do interesse de suas matrizes. O país pode, ainda ser um exportador de tecnologia à combustão.	39	4,56
09	Incentivos fiscais do governo necessários para impulsionar a eletromobilidade.	A falta de incentivos fiscais e subsídios representam uma barreira à eletromobilidade, visto que os veículos elétricos ainda têm custos elevados e uma alta carga tributária.	38	4,44
10	Desenvolvimento Tecnológico como oportunidade.	O desenvolvimento tecnológico referente à eletromobilidade pode representar vantagens competitivas, uma vez que a eletrificação é uma tendência irreversível cujas variáveis encontram-se nas alternativas tecnológicas a serem utilizadas e a velocidades (lenta) que serão implementadas. A digitalização	37	4,32

Item	Opinião (<i>Statement</i>)	Detalhamento	Nº Concourses	%
		(conectividade) beneficia a eletrificação.		
11	Políticas Governamentais não são claras e comprometem a eletrificação.	Apesar de já existirem algumas iniciativas como o Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica, a falta de um “roadmap” para a expansão da frota de veículos elétricos no Brasil compromete a construção de uma visão de futuro que a alavanque, não oferecendo a segurança necessária para investidores.	37	4,32

Item	Opinião (Statement)	Detalhamento	N° Concourses	%
12	Biocombustíveis são desafios à eletromobilidade.	No Brasil, diferentemente da Europa, não há uma grande pressão no que se trata à redução de emissões de gases de efeito estufa, o que resulta, consequentemente, numa menor velocidade de adesão à eletromobilidade. Isso se deve principalmente à utilização do etanol, que possui emissões reduzidas quando entendido do poço à roda (<i>well-to-wheel</i>).	30	3,50
13	Matriz energética contribui para a eletromobilidade.	O Brasil tem uma matriz energética diversificada e limpa, e, com o crescimento do sistema de “ <i>smart grids</i> ”, isso contribui para a sustentabilidade do ciclo da eletromobilidade.	28	3,27
14	Cidade/Município oferece oportunidades aos pesados.	Os municípios oferecem grandes oportunidades à eletrificação de frotas de ônibus e caminhões comerciais nos centros urbanos, pois as viagens são curtas e roteirizadas. Estas estão promovendo políticas em direção à eletromobilidade.	27	3,15
15	Eficiência energética e mecânica associada ao conforto é uma oportunidade.	Os veículos elétricos são muito mais eficientes e silenciosos quando comparados aos veículos a combustão, além de fornecerem mais conforto aos usuários.	24	2,80
16	Capacitação/Educação/Treinamento exigirá uma requalificação de profissionais do mercado.	A eletromobilidade exigirá uma capacitação e requalificação de profissionais de diversos segmentos, dentre eles: bombeiros, policiais, mecânicos e engenheiros. Todavia, ainda não há uma demanda suficiente de veículos elétricos para o desenvolvimento desses profissionais.	22	2,57
17	Modelos de negócio têm impulsionado a eletrificação no transporte público.	Modelos de negócios alternativos no âmbito do transporte público eletrificado, como visto em Santiago do Chile, onde há separação dos operadores e donos da frota, impulsionam a eletromobilidade.	22	2,57
18	Veículos a célula combustível são o futuro.	A eletromobilidade através de veículos movidos por células a combustível é uma ótima alternativa tecnológica ao país, uma vez que elas podem ser utilizadas junto à biocombustíveis, como etano e biogás. É uma tecnologia de grande potencial de futuro, apesar do fraco empenho governamental no seu desenvolvimento.	22	2,57
19	A cultura de compartilhamento de veículos ajuda a eletromobilidade.	Há uma mudança cultura em curso onde os jovens importam-se mais com a mobilidade em si do que adquirir um veículo e os carros elétricos trazem a oportunidade de aumentar o compartilhamento de veículos, diminuindo a quantidade total de veículos em circulação.	20	2,34
20	Mercado automobilístico como oportunidade.	O Brasil tem um mercado automobilístico importante que é atrativo para a eletromobilidade.	19	2,22
Item	Opinião (Statement)	Detalhamento	N° Concourses	%

21	Eletromobilidade como desafio para a distribuição de energia elétrica	O carregamento simultâneo de uma grande quantidade de veículos elétricos impactará na distribuição de energia elétrica, o que representa um risco à rede.	17	1,99
22	Os Pesados (ônibus e caminhões) são uma grande oportunidade.	No primeiro momento, os veículos pesados, dentre eles, ônibus e caminhões, são a grande oportunidade para o desenvolvimento da eletromobilidade no Brasil.	17	1,99
23	A eletromobilidade contribui para a Saúde.	A mobilidade elétrica contribui para a diminuição de custos ligados à saúde pública por meio da redução da poluição ambiental e sonora.	16	1,87
24	A associação/cooperação da TríliceMCI HéliceMCI como desafio.	É necessário um vínculo forte entre universidade-indústria-governo para melhorar o desenvolvimento tecnológico na área, e a ausência desse vínculo resulta em importação de tecnologia que poderia ser produzida no Brasil.	15	1,75
25	Mobilidade urbana entendida como sistêmica.	As novas tendências globais, como a eletromobilidade, devem ser inseridas e analisadas através de um plano de mobilidade urbana.	15	1,75
26	Cadeia de minerais nacionais como oportunidade.	O Brasil deve explorar a cadeia produtiva mineral (Lítio, Cobalto, Nióbio e Terras Raras) para obter vantagens estratégicas e competitivas na produção de baterias, o que requer o desenvolvimento dessas cadeias.	14	1,64
27	Tempo de carregamento é alto (mudança cultural necessária)	O tempo de carregamento de veículos elétricos é alto, o que demanda uma mudança cultural. Além disso, o “range anxiety” é um paradigma que também deve ser superado.	12	1,40
28	Levíssimos são uma oportunidade	Os levíssimos (bicicletas, motocicletas e scooters) por terem custo (CAPEX) menor são uma grande oportunidade para a eletromobilidade, mas carece de impulso por parte da indústria.	8	0,93
TOTAL			856	100,00

A Tabela 4 é resultado da codificação inicial dos 856 *concourses* achados nas entrevistas dos respondentes e que foram codificados em 28 *statements*, utilizando-se o *software* Atlas Ti Cloud.

4.4. Administração do Q sort

Para efetivamente estabelecer os fatores, o método Q demanda que sejam agrupados os Q-set conforme apresentado no tópico 3.4., ou seja, a administração do pacote Q sort. O pacote de classificação Q, ou seja, o pacote final de declarações (Q-Sort), consiste como um baralho de cartas com cada declaração (*statement*) em uma carta separada. Os participantes são

solicitados a classificar as várias declarações, indicando o grau de concordância que eles colocam em cada uma das declarações, de 'mais discorda' (-1 a -4), 'neutro' (0), ou a 'mais concordo' (+1 a +4), distribuindo as mesmas forçadamente na grade disponibilizada (distribuição normal achatada).

Assim, como já descrito em 3.4 a administração do *Q sort*, foi utilizado o *Q Method Software* (<https://qmethodsoftware.com>), que teve 38 respondentes anônimos entre os 61 respondentes iniciais que responderam ao formulário *online*. O objetivo foi colher as opiniões dos respondentes sobre os 28 statements. O resultado dessa opinião pode ser percebido na Tabela 5 como dever-se-á comentar. Entretanto, aqui não importa as respostas individuais, mas como essas opiniões podem ser aproximadas.

4.5. Codificação focalizada

Segundo (TAROZZI, 2011), depois das codificações iniciais (Tabela 4), até mesmo pela contribuição da amostragem teórica, as sucessivas coletas de dados são mais focalizadas, onde a codificação se põe em nível analítico mais elevado. O resultado, conforme o autor, é a emergência das principais direções, os temas, as categorias interpretativas que os dados indicam.

Assim, o grupo de pesquisa reuniu os 28 *statements* em seis categorias em um framework de análise inicial, conforme pode ser visto na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Framework de análise inicial.

Ações Governamentais	Tecnologia	Cadeia Produtiva	Meio Ambiente	Matriz Energética	Educação
(5) Regulamentação/leis/normas são ainda insuficientes	(18) Veículos a célula combustível são o futuro	(10) Desenvolvimento tecnológico como oportunidade	(3) A preocupação com o meio ambiente é uma oportunidade	(15) Eficiência energética e mecânica associada ao conforto é uma oportunidade	(16) Capacitação/educação/treinamento exigirá uma requalificação de profissionais no mercado
(9) Incentivos fiscais do governo necessários para impulsionar a EM	(4) Híbridaização como estágio inicial da eletromobilidade	(20) Mercado automobilístico como oportunidade	(23) A EM contribui para a saúde	(13) Matriz energética contribui para a EM	
(11) Políticas governamentais não são claras e comprometem a eletrificação	(7) Baterias elétricas como desafio	(2) Cadeia produtiva nacional ameaçada	(12) Biocombustíveis são desafios à EM	(21) EM como desafio para a distribuição de energia elétrica	
(6) Infraestrutura de eletropostos é um desafio	(27) Políticas governamentais não são claras e	(8) Indústria automobilística como oportunidade			

Ações Governamentais	Tecnologia	Cadeia Produtiva	Meio Ambiente	Matriz Energética	Educação
	comprometem a eletrificação				
(22) Os pesados (ônibus e caminhões) são uma grande oportunidade	(1) O investimento (custo) em VE é um desafio	(26) Cadeia de minerais nacionais como oportunidade			
(28) Levíssimos são uma oportunidade		(24) A associação/cooperação da trílice hélice como desafio			
(14) Cidade/município oferece oportunidade aos pesados					
(17) Modelos de negócio tem impulsionado a eletrificação no transporte público					
(25) Mobilidade urbana entendida como sistêmica					
(19) A cultura do compartilhamento de veículos ajuda à EM					

Fonte: O próprio autor

Assim, o grupo de pesquisa foi codificando esses 28 *statements* para chegar a nominar as seis categorias: ações governamentais com 10 *statements*; cadeia produtiva com 6 *statements*; tecnologia com 6 *statements*; meio ambiente e matriz energética com 3 *statements* cada e, finalmente, educação com apenas um *statement*.

Desta forma, o escopo da codificação focalizada é o de recolher os conceitos em categorias e identificá-los em um nível mais elevado, que é o nível no qual se interligam entre si as categorias e estas com suas propriedades. Assim, de forma a evidenciar as relações entre categorias e subcategorias optou-se por colocá-las em uma tabela de dupla entrada (*statements* x fatores), Anexo 2, de forma a evidenciar os elementos de confronto conceituais, e preencher de sentido os cruzamentos significativos (TAROZZI, 2011).

4.6. Análise dos dados

A etapa seguinte da metodologia Q demanda que o Q-sort seja aplicado a um grupo de especialistas para que sejam ranqueados conforme um histograma padrão, como apresentado na Figura 8. A resposta de cada um dos 38 respondentes do Q-sort para os 28 *statements* se pode verificar no Anexo 1. O padrão de classificação (classificação Q) de cada participante foi inserido no pacote estatístico *KenQ Analysis Desktop Edition* (KADE).

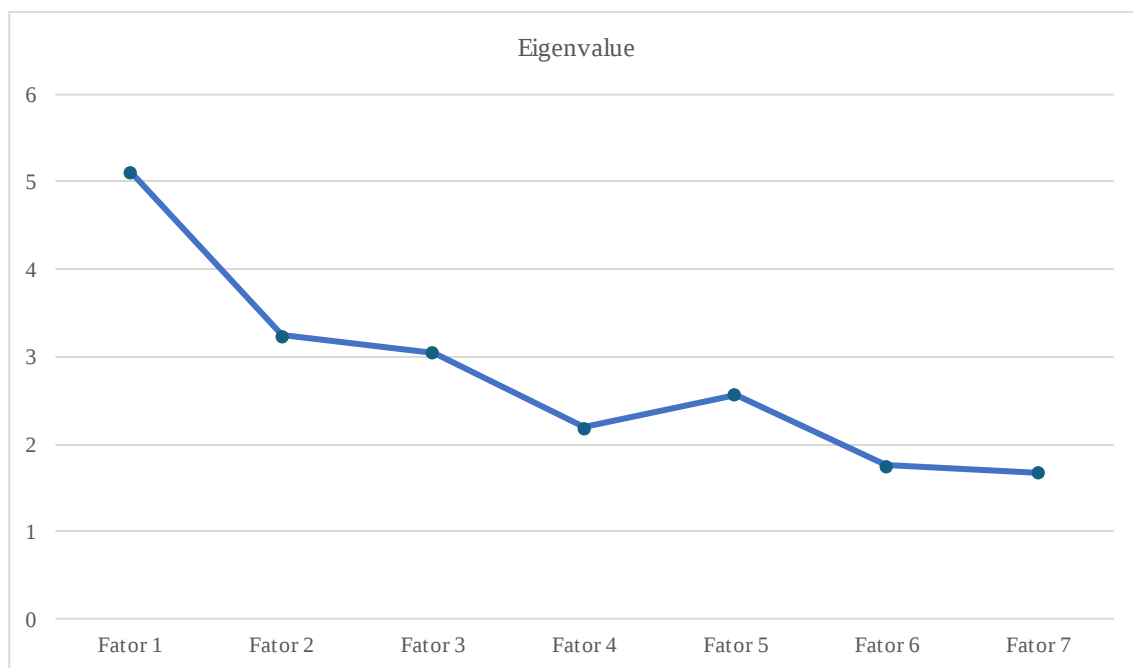
Os fatores foram selecionados com base nos valores de seu autovalor (*eigenvalue*) excedendo a 1,0 e que teve uma variância acumulada de 52%, conforme apontado por (MATOS; RODRIGUES, 2019). Cargas fatoriais com autovalores maiores que 1 foram consideradas significativas (STEELMAN; MAGUIRE, 1999). Assim, determinou-se a matriz de correlação, extraíndo e girando, por meio da rotação VARIMAX embutida no software, fatores significativos e calculou-se os escores-Z de cada fator (FRATE *et al.*, 2019). A Tabela 6 das características fatoriais, demonstra os autovalores fornecidos pelo pacote estatístico, o número de variáveis definidas e a variância explicada e acumulada.

Tabela 6: Características fatoriais

Fatores	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7
<i>Eigenvalue</i>	5,1123	3,2373	3,046	2,1878	2,5722	1,7546	1,6696
Nº de variáveis de definição	3	5	6	2	5	2	3
Variância explicada %	13	9	8	5	7	5	4
Variância explicada acumulada %	13	22	30	36	43	48	52

Como forma de deixar claro que os critérios escolhidos para a determinação de fatores executamos a Figura 11 apresenta o diagrama de declividade (*Scree test*) com o objetivo de demonstrar a inexistência de “cotovelos” no gráfico dos autovalores quando da análise fatorial com rotação VARIMAX, e justifica a existência de sete fatores e não menos, como se pode inicialmente imaginar.

Figura 11: Diagrama de declividade (*Scree test*).



Fonte: o próprio autor.

Os escores Z (Z-scores) destacam as declarações de prioridade de cada fator ou perspectiva. Isso permite atribuir títulos a cada fator, de acordo com a prática típica da metodologia Q (KOUGIAS *et al.*, 2020). Assim, conforme a Tabela 7, os 28 *statements* encontrados foram ranqueados por seus Z-scores para cada fator. Sete fatores foram determinados estatisticamente, caracterizando o tema dos desafios e oportunidades da EM no Brasil.

Tabela 7: Rank dos escores fatorais e os valores Z para cada declaração (Statement)

Statement	Número	Fator 1		Fator 2		Fator 3		Fator 4		Fator 5		Fator 6		Fator 7	
		Z-score	Rank	Z-score	Rank	Z-score	Rank	Z-score	Rank	Z-score	Rank	Z-score	Rank	Z-score	Rank
O investimento (custo) em Veículos Elétricos é um desafio	1	-0,87	23	-0,44	21	-0,67	22	2,21	1	0,82	6	0,96	4	-1,52	27
Cadeia Produtiva Nacional ameaçada	2	-0,01	17	-2,03	27	-1,38	26	-0,63	18	-0,62	20	0,04	13	0,98	4
A preocupação com o meio ambiente é uma oportunidade	3	0,23	12	-0,18	18	0,29	10	0,94	5	1,01	5	0,67	7	2,08	1
Hibridização como estágio inicial da eletromobilidade	4	-0,87	24	0,85	4	1,92	1	-0,95	23	-1,96	28	1,22	3	-0,41	20
Regulamentação/leis/nomas são ainda insuficientes	5	-0,01	16	0,29	10	-0,07	13	0,31	11	-0,03	16	-0,26	18	0,74	6
Infraestrutura de eletropostos é um desafio	6	-0,23	18	-0,44	20	-0,17	16	0,63	8	0,48	8	2,18	1	-2,17	28
Baterias elétricas como desafio	7	-0,69	22	-0,52	23	1,42	4	1,58	2	-0,42	19	1,92	2	-0,16	17
Industria automobilística como oportunidade	8	-0,67	21	0,31	9	-0,87	23	0,63	9	-0,63	21	-1,25	27	-0,9	24
Incentivos fiscais do governo necessários para impulsionar a eletromobilidade	9	0,65	8	0,02	16	1,81	3	-0,63	20	1,82	2	-1,22	25	-0,12	16
Desenvolvimento tecnológico como oportunidade	10	0,01	15	0,1	14	-0,21	17	1,57	3	0,26	11	-1	24	0,24	13
Políticas governamentais não são claras e comprometem a eletrificação	11	1,36	2	-0,61	24	-0,99	25	-0,94	22	-0,65	22	0	15	0,33	12
Biocombustíveis são desafios a eletromobilidade	12	-1,57	27	0,38	8	1,04	5	-0,63	19	0,16	13	0,04	14	0,57	8
Matriz energética contribui para a eletromobilidade	13	2,46	1	2,03	2	-0,22	18	0,31	12	-0,27	17	-0,33	19	0,57	9
Cidade/município oferece oportunidade aos pesados	14	0,24	11	-0,88	25	-0,92	24	0	14	-0,34	18	-0,04	16	0,45	11

Statement	Número	Fator 1		Fator 2		Fator 3		Fator 4		Fator 5		Fator 6		Fator 7	
		Z-score	Ran k	Z-score	Ran k	Z-score	Ran k	Z-score	Ran k	Z-score	Ran k	Z-score	Ran k	Z-score	Ran k
Eficiência energética e mecânica associada ao conforto é uma oportunidade	15	0,9	5	0,28	11	-0,55	20	-1,27	27	0,03	15	0,29	11	-0,66	21
Capacitação/educação/treinamento exigira uma requalificação de profissionais no mercado	16	-1,13	25	2,22	1	-0,61	21	-0,32	17	-0,72	23	0,33	10	1,76	2
Modelos de negócio tem impulsionado a eletrificação no transporte publico	17	0,03	14	0,97	3	-0,08	14	0,94	6	0,26	12	0,88	5	-0,36	19
Veículos a célula combustível são o futuro	18	0,66	7	-1,32	26	1,82	2	0,95	4	-1,46	25	-0,08	17	0,74	5
A cultura de compartilhamento de veículos ajuda a eletromobilidade	19	1,13	3	0,12	13	0,66	7	-1,26	26	0,79	7	0,37	9	-0,86	23
Mercado automobilístico como oportunidade	20	0,43	10	0,17	12	0,09	11	0	16	-1,48	26	-2,51	28	0	14
Eletromobilidade como desafio para a distribuição de energia elétrica	21	-2,46	28	-2,51	28	-0,01	12	-1,89	28	-0,83	24	-0,71	23	-0,69	22
Os pesados (ônibus e caminhões) são uma grande oportunidade	22	0,87	6	-0,36	19	0,67	6	0,63	7	0,4	10	-1,22	26	-0,03	15
A eletromobilidade contribui para a saúde	23	0,46	9	0,1	15	0,63	8	0,62	10	1,47	3	0,71	6	0,49	10
A associação/cooperação da tríplceMCI héliceMCI como desafio	24	0,91	4	-0,09	17	0,37	9	-0,95	24	1,07	4	-0,63	21	-1,44	26
Mobilidade urbana entendida como sistêmica	25	-1,13	26	0,56	7	-0,32	19	-1,26	25	1,9	1	0,59	8	1,39	3
Cadeia de minerais nacionais como oportunidade	26	-0,48	20	0,69	6	-1,83	28	0,01	13	0,45	9	-0,67	22	-0,29	18
Tempo de carregamento é alto (mudança cultural necessária)	27	-0,43	19	-0,5	22	-0,1	15	0	15	-1,66	27	-0,59	20	-1,39	25
Levíssimos são uma oportunidade	28	0,22	13	0,8	5	-1,72	27	-0,63	21	0,13	14	0,29	12	0,65	7

4.7. Análise de Fatores

Para realizar uma análise mais aprofundada dos fatores em questão, recorremos à Tabela 7. Essa tabela possui uma série de colunas que representam diferentes fatores que queremos examinar. Ao longo das linhas, encontramos 28 declarações (*statements*) relevantes relacionadas a esses fatores. Para determinar o significado de cada fator, utilizamos os escores Z (*Z-Scores*) significativos como referência. Dessa forma, podemos obter uma compreensão mais precisa dos fatores analisados.

O escore-Z indica o nível de concordância entre cada fator e as afirmações correspondentes. No teste de hipótese estatística, um escore Z é uma medida de quantos desvios padrão um ponto de dados está da média de uma população. Se um escore Z for maior que 1 (ou seja, maior que um desvio padrão acima da média), então o ponto de dados correspondente está relativamente longe da média e é considerado significativo no nível de confiança de 68%. Se um escore Z for maior que 1,96 (ou seja, maior que dois desvios padrão acima da média), o ponto de dados correspondente é considerado significativo no nível de confiança de 95%. Portanto, na metodologia Q, se os escores Z forem significativos, significa que são superiores a 1,96. As afirmações com as quais os respondentes concordaram ou discordaram fortemente em cada categoria são determinadas com base no escore-Z absoluto de ± 1 (ZABALA; PASCUAL, 2016).

Dada a natureza categórica das informações processadas pela metodologia Q e a ampla gama de questões envolvidas na adoção de VEs, segundo os especialistas entrevistados, decidiu-se estabelecer alguns critérios para interpretar e nomear os fatores identificados. Primeiro, os maiores escores Z foram usados para determinar a predominância de cada fator, seja em termos de reforço (escore Z positivo) ou de não concordância (escore Z negativo) com uma declaração. Em segundo lugar, apenas oito temas influenciaram apenas um dos fatores com um escore Z maior que 1, seis influenciaram mais de dois fatores e 11 influenciaram pelo menos dois fatores. Dezessete temas influenciaram mais de um fator, complicando sua análise. O procedimento adotado foi utilizar o tema mais impactado, seguir uma sequência decrescente de impacto e buscar reforçar os impactos apenas ao analisar e nomear os fatores.

Três temas não tiveram uma relação significativa com nenhum fator: legislação insuficiente, potencial dos ônibus nas cidades e modelos de negócios para transporte público. Para esses três temas, a dispersão dos dados foi superior aos 52% capturados pelos sete fatores. No entanto, há coerência entre eles, pois a complexidade da legislação brasileira exige sinergia

entre as leis federais, estaduais e municipais para viabilizar a eletromobilidade no transporte urbano das grandes cidades.

4.7.1. Análise do Fator 1

A maioria dos respondentes destacou esse fator 1 com um *eigenvalue* de 5,11 conforme a Tabela 6. Isso encontra respaldo na fase inicial de entrevistas do desenvolvimento do pacote Q sort, por exemplo, quando um respondente do Governo disse:

“Todos os países que obtiveram um desenvolvimento de veículos elétricos (e da eletromobilidade) implementaram políticas de incentivo à demanda”.

No fator 1, um total de 2 afirmações apresentaram escores Z significativos (Tabela 7): statements 13 e 21 e foram sinalizados com negrito na Tabela.

Suas declarações em ordem de concordância (maior pontuação Z) são: **13**, matriz energética contribui para a eletromobilidade; **11**, políticas governamentais não são claras e comprometem a eletrificação e **19**, a cultura de compartilhamento de veículos ajuda a eletromobilidade.

Os respondentes concordam que o Brasil tem uma matriz elétrica diversificada de origem predominantemente renovável (Statement 13; $Z = 2,46$), com destaque para a fonte hídrica que responde por 64,9% da oferta interna. Um dos respondentes da Academia, na fase de entrevistas destacou, por exemplo, que:

“A comunidade internacional tem demandado, através de acordos ambientais, soluções que reduzam as emissões de GEE. Entretanto, por possuir uma matriz energética predominantemente limpa, o Brasil não necessita passar por grandes mudanças estruturais, o que, de certo modo, impede a rápida ascensão da eletromobilidade no país”.

Destaca-se ainda que há endosso dos respondentes neste fator da cultura do compartilhamento (Statement 19), pois este desempenha um papel importante nas melhorias ambientais e pode ser gerenciado como uma inovação de transporte de baixo carbono para mitigar a pegada de carbono relacionada ao transporte (TE; LIANGHUA, 2020). Destaca-se uma opinião de um respondente do setor privado na fase de entrevistas sobre este tema:

"Os carros elétricos trazem a oportunidade de aumentar o compartilhamento de veículos e com isso diminuir a quantidade total de veículos em circulação".

Some-se as novas possibilidades de compartilhamento das E-bikes (bicicletas elétricas) e micro mobilidade (patinetes, *onewheel*, *segway*) que representam opções de transporte individual de última milha que reduzem o tráfego com zero emissões e facilitam o acesso das pessoas aos destinos de viagem (BALACCO *et al.*, 2021).

As declarações de discordância para este fator (pontuação Z mais baixa) são: 21, eletromobilidade como desafio para a distribuição de energia elétrica; 12, biocombustíveis são desafios à eletromobilidade; 25, mobilidade urbana entendida como sistêmica; e, 16, capacitação, educação e treinamento exigirão uma requalificação de profissionais do mercado.

Assim, os respondentes discordam que a EM seja um desafio para a distribuição da energia elétrica, pois o carregamento simultâneo de uma grande quantidade de veículos elétricos impactará na distribuição de energia elétrica, o que representa um risco à rede (Statement 21, $Z = -2,46$). O Sistema Interligado Nacional (SIN) é o conjunto de instalações e de equipamentos que possibilitam o suprimento de energia elétrica nas regiões do país interligadas eletricamente, que por meio de suas interconexões e de sua extensa malha, podem minimizar as crises energéticas (ANEEL, 2014). A preocupação é apenas local e apenas na ausência dos investimentos governamentais necessários.

Um respondente do setor privado na fase de entrevistas disse sobre este ponto, por exemplo:

"Com a implementação da eletromobilidade no Brasil, haverá interferências na rede de distribuição de energia elétrica devido a demanda para carregamento dos veículos".

A tecnologia *Vehicle-to-Grid* (V2G), que permite o carregamento bidirecional entre os VE e o sistema de rede de energia para regulação de frequência e balanceamento de carga, tem o potencial de melhorar significativamente a viabilidade financeira da mobilidade elétrica. A introdução do V2G oferece uma infinidade de modelos de negócios potencialmente benéficos, que se concentram principalmente no fornecimento de serviços de estabilidade para a rede de energia e na otimização dos benefícios econômicos de possuir um VE (HØJ; JUHL; LINDEGAARD, 2018).

Há uma discordância, entre os apoiadores do fator 1, que os biocombustíveis são desafios para a eletromobilidade (Statement 12; $P < 0,05$; $Z = -1,57$) pois estes podem ser ao contrário, uma oportunidade como combustível para os carros híbridos. Isso pode ser corroborado pelo exemplo da resposta de um respondente do setor privado na fase de entrevistas:

"Os veículos híbridos com biocombustíveis, são uma boa alternativa e se adequam mais a realidade do Brasil, do que os veículos puramente elétrico".

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2020), os biocombustíveis são derivados de biomassa renovável que pode substituir, parcial ou totalmente, os combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores de combustão ou outros tipos de geração de energia. Por essa definição, é possível perceber a importância da substituição progressiva dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis, tendo em vista os acordos cada vez mais restritivos que visam minimizar o impacto das atividades humanas na Terra (MALAQUIAS *et al.*, 2019).

O país possui um mercado de biocombustíveis bem estabelecido com base na tecnologia *flexfuel* e o ecossistema de negócios de biocombustíveis provavelmente transformará o caminho para a EM (VARGAS *et al.*, 2020). O etanol de cana de açúcar é superior ao etanol de milho ou de beterraba em relação à pegada ambiental e aos custos de produção, o que permite uma vantagem competitiva no caso brasileiro (CARDOSO *et al.*, 2019).

Verificou-se que os PHEV podem permitir que o setor automotivo alcance metas climáticas mais ambiciosas do que os veículos elétricos a bateria. (COSTA, Evaldo *et al.*, 2020) realçam que o VE não é competidor dos veículos movidos à etanol, mas uma tecnologia complementar.

Os apoiadores desse fator também discordam que a mobilidade urbana deve ser entendida como sistêmica (Statement 25, $Z = -1,13$), pois a eletrificação de veículos individuais não promove uma mobilidade urbana sustentável. Um respondente do setor privado colocou, por exemplo, que:

"A mobilidade urbana deve atentar-se às eficiências das atividades, da distribuição do espaço e dos recursos. Para isso, é necessário que sejam seguidas as diretrizes da Lei 12.587/12,

conhecida como Lei da Mobilidade Urbana, que determina que se deve priorizar os deslocamentos a pé, em seguida os transportes não motorizados, posteriormente os transportes coletivos e, por fim a mobilidade individual”.

Estes ainda discordam que a capacitação, educação e treinamento exigirá uma requalificação de profissionais no mercado (Statement 16, $Z = -1,13$). Esta última discordância está em oposição com os apoiadores do fator 2 a seguir.

Para o fator 1, os elementos mais relevantes estão relacionados à matriz energética brasileira (2,46), à distribuição de energia (-2,46), à cultura de compartilhamento (1,13), aos biocombustíveis (-1,57) e à falta de políticas claras que reforcem a eletromobilidade (1,36). Analisando a lógica e os escores Z, observa-se que a cultura de compartilhamento e a matriz energética reforçam a adoção da EM, pois refletem uma visão de redução do impacto ambiental e não consideram que a distribuição de eletricidade para recarga e a cadeia de biocombustíveis impedem isso, mesmo que haja uma falta de políticas públicas que reforcem os aspectos positivos e inibam os negativos.

O Fator 1 reflete uma visão ampla em favor da EM, sustentada pela matriz energética brasileira e pela cultura de compartilhamento. Embora haja preocupações pontuais sobre infraestrutura de carregamento e políticas públicas, os respondentes concordam que a eletrificação do transporte pode ser impulsionada por essas características.

Estudos mostram que a incerteza regulatória é uma das principais barreiras para a adoção de veículos elétricos (BERKELEY *et al.*, 2017). No entanto, os brasileiros na amostra parecem mais tolerantes ao risco. Essa visão compartilhada entre os atores consultados pode influenciar políticas públicas, especialmente se houver consenso sobre a insuficiência das normas atuais. A literatura reforça esse ponto, destacando a necessidade de um ambiente regulatório favorável à EM (CANSINO; SÁNCHEZ-BRAZA; SANZ-DÍAZ, 2018).

Uma proposta interessante para superar essas lacunas seria a criação de um "*sandbox* regulatório para carregamento elétrico", inspirado no *Tariff Sandbox* da ANEEL, permitindo a experimentação de novos modelos regulatórios que promovam a sustentabilidade e a inclusão de stakeholders no ecossistema de eletromobilidade (VARGAS *et al.*, 2020).

Portanto, o Fator 1 foi denominado "**Visão Ampla a Favor da Eletromobilidade**", refletindo a percepção de que o Brasil possui vantagens estratégicas que podem ser aproveitadas

com políticas públicas mais claras e integradas. O governo tem um papel fundamental na promoção do uso de VEs e no apoio ao desenvolvimento da infraestrutura necessária para permitir sua ampla adoção. Algumas das principais políticas que podem ajudar a promover a eletromobilidade incluem: incentivos fiscais, desenvolvimento de infraestrutura, suporte de P&D e estruturas regulatórias.

Ao implementar essas políticas e apoiar o desenvolvimento da indústria de VEs, o governo brasileiro pode ajudar a impulsionar a adoção de VEs e reduzir a dependência do país de combustíveis fósseis.

4.7.2. Análise do Fator 2

Para atender aos requisitos de pessoal da indústria e das novas tecnologias de acionamento dos motores elétricos, a transformação disruptiva da mobilidade confronta os OEM e os sistemistas com grandes desafios de pessoal, que incluem novos perfis de requisitos para os trabalhadores qualificados. O mesmo ocorre com motoristas de ônibus elétricos.

As cadeias de fornecimento utilizadas para a produção de VE diferem consideravelmente da produção anterior de motores a combustão e, em particular, mostram uma proporção consideravelmente menor de processos de usinagem, razão pela qual os engenheiros e trabalhadores qualificados envolvidos precisam receber educação adicional adequada na forma de cursos de treinamento e materiais educacionais (HAUSMANN *et al.*, 2020).

Um dos respondentes do Governo, relatou na fase de entrevistas que:

“Além de dispor de uma mão de obra qualificada, o país possui uma forte indústria siderúrgica e uma indústria de autopeças, que apesar de precisar de uma requalificação, ainda é competitiva. Sendo assim, tais fatores representam oportunidades ao desenvolvimento da eletromobilidade no Brasil”.

As declarações em ordem de concordância são: 16, capacitação, educação e treinamento exigirão uma requalificação de profissionais no mercado; e, 13, a matriz energética contribui para a EM. Os apoiadores desse fator também concordam que a matriz energética brasileira contribui para a EM (Statement 13, $Z = 2,03$). No fator 2, um total de 4 afirmações apresentaram escores Z significativos (Tabela 7): statements 16, 13, 2 e 21.

As declarações de discordância desse fator foram: 21, eletromobilidade como desafio para a distribuição de energia elétrica; 2, Cadeia Produtiva Nacional ameaçada; e, 18, veículos a célula combustível são o futuro. Com efeito, os apoiadores desse fator discordam que a EM seja um desafio para a distribuição de energia elétrica (Statement 21, $Z = -2,51$). Há discordância também que a cadeia produtiva esteja sendo ameaçada pela EM (Statement 2; $P < 0,05$; $Z = -2,03$).

A difusão em massa de VE deve exigir grandes investimentos locais da indústria automobilística e isso pode ser uma relação de compromisso entre, por exemplo, investir em veículos a etanol (que tem apoio do governo) ou VE (que tem apoio menor do governo) que como qualquer nova tecnologia oferece riscos (COSTA, Evaldo *et al.*, 2020; MIELNIK; SERIGATI; GINER, 2017). Portanto, o cenário mais provável é que a indústria automobilística brasileira aguarde um pouco mais pela evolução dos VE no mercado internacional antes de decidir sobre seus investimentos. Por fim, há discordância que os veículos à célula combustível sejam o futuro (Statement 18, $Z = -1,32$).

O Fator 2 foi fortemente associado a respondentes do setor privado, que destacaram a necessidade de requalificar os recursos humanos para garantir a transição da indústria automotiva brasileira. Essa preocupação reflete o receio do setor privado quanto à disponibilidade de trabalhadores qualificados para sustentar a transformação tecnológica necessária para o crescimento econômico e a consolidação do Brasil como uma economia que apoia a EM.

Estudos indicam que desde 2008 o Brasil enfrenta um “apagão de mão de obra” em setores-chave, como o de Tecnologia da Informação (TI), expondo deficiências significativas nos sistemas de educação secundária e profissional (CEZARINO *et al.*, 2019; SANTOS, C. B. de F.; MARAVALHAS, 2017). Com o futuro da indústria automotiva cada vez mais dependente de linguagens de programação como SQL, Java, C++ e Python, a demanda por profissionais com habilidades multidisciplinares tem crescido rapidamente (LIU, Yicheng *et al.*, 2021; RANGRAZ; PARETO, 2021).

Exemplos internacionais reforçam a importância do treinamento. Em Santiago, Chile, a transição para ônibus elétricos exigiu um intenso programa de capacitação para motoristas, que precisaram se adaptar ao manuseio e operação dos novos veículos (AAMODT; CORY; CONEY, 2021). Essa experiência demonstra que, para países emergentes que enfrentam

transições semelhantes, a qualificação dos operadores de transporte público será crucial para o sucesso da mobilidade elétrica (HIDALGO; KING, 2014).

Portanto, o desenvolvimento da EM no Brasil dependerá, em grande parte, da capacidade do país de requalificar sua força de trabalho, preparando-a para atender às exigências tecnológicas dessa nova era industrial.

O grupo de pesquisa nominou esse fator 2 de **requalificação de recursos humanos**. Esta é essencial para o desenvolvimento e crescimento da indústria da eletromobilidade. A transição para veículos elétricos requer novos conjuntos de habilidades, e a força de trabalho precisa ser treinada e retreinada para se adaptar à nova tecnologia e às mudanças nos requisitos de trabalho.

4.7.3. Análise do Fator 3

O fator 3 identificado com a expansão da EM que está diretamente atrelada ao avanço tecnológico por meio do desenvolvimento tecnológico, como pode ser visto nas declarações de concordância, que foram respectivamente: 4, hibridização como estágio inicial da eletromobilidade; 18, veículos elétricos a célula combustível são o futuro; 9, incentivos fiscais do governo necessários para impulsionar a eletromobilidade; 7, baterias elétricas como desafio; e, 12, biocombustíveis são desafios à eletromobilidade. No fator 3, não houve afirmações, que apresentaram escores Z significativos (Tabela 7).

Este fator é caracterizado pela concordância que a hibridização é o estágio inicial da eletromobilidade (EM) (Statement 4, $P < 0,1$, $Z = 1,92$). Um veículo híbrido combina quaisquer duas fontes de geração de energia e a combinação de duas fontes de energia pode suportar dois sistemas de propulsão separados ou combinar em um único sistema de propulsão (GOVARDHAN, 2017). Como exemplo, uma opinião de um respondente do governo na fase de entrevistas foi:

“Os veículos híbridos possuem custos menores e autonomias maiores quando comparados aos veículos a bateria”.

A concordância com essa afirmação pode ser reforçada pelos recentes avanços no mercado de veículos eletrificados no Brasil. Em 2024, o país registrou um total de 173.530 emplacamentos, um crescimento de 85% em relação a 2023, superando todas as previsões da ABVE. O mês de dezembro estabeleceu um novo recorde mensal, com 18.942 unidades vendidas. Dentro desse mercado, os veículos plug-in, que incluem os BEV 100% elétricos e os

PHEV híbridos com recarga externa, destacaram-se com 125.624 unidades vendidas, representando 71% do total de veículos eletrificados em 2024, e um aumento de 140% em comparação com 2023 (CASARIN, 2025).

Os híbridos sem recarga externa (HEV, HEV flex e MHEV), incluindo os micro híbridos, totalizaram 51.733 unidades, representando 29% das vendas e um aumento de 24% em relação ao ano anterior. A ABVE ressalta que, embora haja uma polêmica técnica sobre a inclusão dos micro híbridos na categoria de veículos eletrificados, o mercado de veículos elétricos plug-in mostrou uma clara expansão no Brasil, apoiada por uma crescente aceitação dos consumidores.

A expansão da infraestrutura de recarga também foi significativa em 2024, com mais de 12 mil pontos de recarga públicos e semipúblicos instalados em todo o país, o que ajudou a reduzir as incertezas sobre o uso de veículos elétricos para viagens de longa distância. Esses avanços refletem um mercado em evolução, com um aumento na demanda e uma infraestrutura mais robusta, consolidando o Brasil como um emergente participante no cenário global da eletromobidade.

Segundo a (ANFAVEA, 2025), esses licenciamentos de VEs, HEVs e PHEVs representaram 4,3% do total de veículos licenciados no ano. Uma decisão acertada da ABVE foi desconsiderar os micro-híbridos (MHEV) que não conseguem tracionar as rodas como VEs a partir de 2025. Essa medida visa garantir uma maior precisão nas estatísticas e reforçar o foco em tecnologias que realmente contribuem para a eficiência energética e a redução de emissões.

Os respondentes também concordam que os veículos à célula combustível (FCEV) são o futuro (Statement 18, $P < 0,05$, $Z = 1,82$). Veículos totalmente elétricos, movidos a baterias ou a células combustível baseadas em hidrogênio produzido a partir de energias renováveis parecem ser a única opção viável para atender às futuras metas de emissão de CO_2 de $< 95 \text{ gCO}_2 / \text{km}$, e o sucesso entre essas tecnologias ainda depende de realizações de pesquisas futuras (GRÖGER; GASTEIGER; SUCHSLAND, 2015). Um exemplo é dado por um respondente do Governo na fase de entrevistas:

“E por fim uma tecnologia de mais longo prazo, que a gente entende que haverá um salto tecnológico, é a tecnologia à célula combustível. Percebe-se mais montadoras colocando investimentos neste tipo de desenvolvimento de veículos elétricos a célula combustível”.

O Brasil tem tudo para ser líder na produção de uma nova fonte de energia renovável: o hidrogênio de baixo carbono, que pode ser obtido da eletrólise da água ou da biomassa e biocombustíveis, como etanol e o metano (CGEE, 2010). O país tem abundância de todos esses recursos, o que facilita o avanço dessa produção. Um dos respondentes do setor privado relatou:

“A propulsão elétrica baseada na produção de hidrogênio a partir da reforma do etanol (célula a combustível) é uma grande oportunidade ao Brasil visto que não seria necessário alterar a cadeia de abastecimento existente”.

Há concordância da necessidade de incentivos fiscais por parte do governo para impulsionar a eletromobilidade (Statement 9, $Z = 1,81$). Um exemplo é dado por um respondente da academia na fase de entrevistas:

“A importação de veículos elétricos se deu inicialmente pelos incentivos fiscais do programa Inovar-Auto”.

Os apoiadores deste fator ainda concordam que as baterias elétricas apresentam desafios (Statement 7, $Z = 1,42$). Um exemplo, vindo de um respondente do setor privado, é:

“A evolução tecnológica tem possibilitado o aumento da capacidade energética das baterias, o que amplia a autonomia dos veículos elétricos”.

Por fim, os respondentes concordam que os biocombustíveis são um desafio à EM (Statement 12, $Z = 1,04$).

A cadeia nacional produtiva de minerais estratégicos para a produção de baterias elétricas é percebida como um desafio (Statement 26, $P < 0,005$; $Z = -1,83$). Por exemplo, uma opinião de um respondente do Governo relatou:

“Diversos minerais que compõem as baterias são problemáticos, tanto por dificuldades de extração quanto por questões sociopolíticas”.

Os apoiadores deste fator discordam das declarações: 26, cadeia de minerais nacionais como oportunidade; 28, levíssimos são uma oportunidade; e 2, cadeia produtiva nacional ameaçada. Assim, discordam que a cadeia nacional de produção de minerais é uma oportunidade (Statement 26, $Z = -1,83$), bem como que os levíssimos (e-bikes, scooters etc.) sejam uma oportunidade. Há discordância também que a cadeia produtiva nacional esteja

ameaçada (Statement 2, $Z = -1,38$). Um representante do setor privado relatou a respeito dos levíssimos:

"A eletromobilidade, principalmente tratando-se de veículos levíssimos, enfrenta diversos desafios regulatórios, em consequência da ausência de compreensão das individualidades e características de cada meio de transporte, o que por sua vez impede que haja uma classificação correta de tais meios".

Os veículos levíssimos, entendidos como *scooters* elétricas, patinetes elétricos, bicicletas elétricas (EB), skates elétricos e outros, são identificados como um desafio (Statement 28, $Z = -1,72$) (PROMOB-E, 2020).

A análise do fator 3 envolve oito variáveis. Os valores de impacto mais altos estão relacionados à hibridização como estágio inicial da adoção da EM (1,92). Diversos elementos tecnológicos da propulsão automotiva estão ligados, como células de combustível (1,82), baterias (1,42) e biocombustíveis (1,04). No espectro da concordância dos respondentes, há uma falta de incentivos fiscais (1,81), um aspecto diretamente relacionado ao desenvolvimento de tecnologias no Brasil, onde grandes empresas automotivas têm acesso à Lei do Bem e ao regime automotivo.

Os respondentes ainda não consideram que os veículos leves sejam uma oportunidade no contexto da EM (-1,72) ou que haja oportunidades para a indústria de mineração brasileira (1,83). Eles também consideram que não há uma ameaça efetiva para a indústria automotiva pelo uso de veículos elétricos (-1,38). Embora o Brasil tenha potencial para se beneficiar do desenvolvimento regional de tecnologias de energia, este fator indica que o foco estratégico deve estar nas tecnologias de propulsão avançadas, como híbridos e células de combustível, e não em micromobilidade ou na dependência da mineração nacional para baterias. Dessa forma, o país pode se posicionar como um líder emergente em EM, desde que priorize investimentos em pesquisa, desenvolvimento tecnológico e infraestrutura adequada.

Dado o conjunto de variáveis relacionadas, decidiu-se nomear este fator como o **desenvolvimento de tecnologias de propulsão**. Este é crucial para a EM que se refere ao uso de VEs e outras formas de transporte eletrificado. Os avanços tecnológicos têm sido a força motriz por trás do recente aumento no interesse e na adoção de VEs.

As baterias, por exemplo, melhoraram significativamente nos últimos anos, permitindo que os VEs percorram distâncias maiores com uma única carga (ALANAZI, F., 2023). Nos últimos 10 anos, o preço dos pacotes de baterias de íons de lítio caiu mais de 80%, de mais de US\$ 1000 por kWh para US\$ 156 por kWh no final de 2019, enquanto a energia específica das células de baterias praticamente dobrou, atingindo 240 Wh/kg, reduzindo significativamente o peso das baterias (MURATORI *et al.*, 2021). Esses avanços têm desempenhado um papel central na popularização dos VEs e continuam a ser um dos principais fatores que impulsionam sua adoção em larga escala. As baterias, por exemplo, melhoraram significativamente nos últimos anos, permitindo que os VEs percorram distâncias maiores com uma única carga. Além disso, a infraestrutura de carregamento melhorou, tornando mais conveniente para os proprietários de VEs carregar seus veículos.

Outros desenvolvimentos tecnológicos também desempenharam um papel fundamental na habilitação da EM, como avanços no projeto de motores elétricos, eletrônica de potência e sistemas de gerenciamento de energia. Isso tornou os VEs mais eficientes, confiáveis e acessíveis.

Outros avanços tecnológicos continuarão a desempenhar um papel crítico no futuro da EM. Por exemplo, pesquisas estão em andamento para desenvolver baterias mais potentes e densas em energia, o que poderia aumentar o alcance dos VEs e reduzir seu custo e peso. Da mesma forma, melhorias na tecnologia de carregamento podem possibilitar o carregamento de VEs de forma mais rápida e fácil, o que os tornaria mais práticos para uma ampla gama de motoristas.

4.7.4. Análise do Fator 4

O custo, ou investimento inicial, dos veículos elétricos é um desafio e será necessário um desenvolvimento tecnológico para sua redução. Assim, os respondentes concordam que o investimento (custo) em veículos elétricos é um desafio (Statement 1, $P < 0,01$, $Z = 2,21$), pois os VE mais vendidos são os de maior valor, pois muitos de seus componentes como a bateria são importados e submetidos ao câmbio em dólar, fenômeno identificado por (SOUZA; FERREIRA, 2020). Um dos respondentes do setor privado relatou a respeito deste ponto:

“Os veículos híbridos possuem tecnologias, como motores elétricos e baterias, que encarece o seu custo final, o que, portanto, é uma ameaça, visto que no Brasil há uma limitação econômica de grande parte dos consumidores”.

Os apoiadores deste fator, além da concordância com a declaração 1, concordam ainda com as declarações: 7, baterias elétricas como desafio ($z = 1,58$) e 10, desafio tecnológico como oportunidade ($Z = 1,57$). Há discordância em: 21, EM como desafio para a distribuição de energia elétrica; 15, eficiência energética e mecânica associada ao conforto é uma oportunidade; 25, mobilidade urbana entendida como oportunidade; e 19, a cultura de compartilhamento de veículos ajuda a eletromobilidade. No fator 4, apenas uma afirmação apresentou escore Z significativo (Tabela 7): statement 1.

Neste fator, a distribuição energética não é percebida como um desafio para a EM (Statement 21, $P < 0,2$, $Z = -1,89$). Os BEV e os FCEV foram identificados como uma solução para cumprir a meta de redução das emissões de gases de efeito estufa em 80 a 95% antes de 2050; no entanto, eles também impactarão a matriz energética, cada vez mais renovável (BÜNGER; MICHALSKI, 2018). Diferentes estratégias de carregamento, bem como métodos de integração de rede, estão sendo desenvolvidos para minimizar os efeitos adversos do carregamento de VE e para fortalecer os benefícios da integração de rede de VE (DAS *et al.*, 2020a).

Apesar disto, um dos respondentes do setor privado durante a fase de entrevistas relatou preocupação com a geração energética:

“Há estudos que demonstram que o Brasil não está preparado, do ponto de vista energético, para uma rápida transição à eletromobilidade. Dessa forma, haveria a necessidade de aumentar a geração de energia elétrica e, conseqüentemente, a disponibilidade energética no país”.

Apesar dos desafios relacionados ao custo inicial dos VEs, o cenário global aponta para uma tendência de redução contínua de preços, impulsionada por políticas de incentivo e subsídios governamentais, como ocorre em países europeus, Estados Unidos e China (KÖNIG *et al.*, 2021; SANTOS, G.; REMBALSKI, 2021). No Brasil, iniciativas semelhantes podem ser necessárias para estimular o mercado interno, especialmente considerando que, conforme (YAMAMURA *et al.*, 2022), os custos de aquisição ainda são um fator determinante para a introdução em larga escala dos VEs.

Além disso, à medida que o custo operacional (OPEX) dos VEs já é inferior ao dos veículos a MCI, a redução do custo de aquisição deve acelerar a penetração dos VEs no mercado nacional. Essa tendência será ainda mais favorecida pela queda nos preços das fontes

renováveis, como a energia solar e eólica, que, segundo (MACIEJOWSKA, 2020), pode ampliar ainda mais a vantagem competitiva dos VEs em termos de custo de operação e sustentabilidade ambiental.

Portanto, o Fator 4 conclui que, embora o custo inicial dos VEs ainda represente uma barreira significativa, o avanço tecnológico e o aumento da produção global prometem reduzir esses custos no médio prazo, abrindo caminho para uma maior adoção da EM no Brasil.

O grupo de pesquisa nominou esse fator 4 de **custo dos VEs**. Este tem sido um grande desafio para a adoção generalizada da EM, mas isso está mudando à medida que a tecnologia avança e as economias de escala são alcançadas.

Historicamente, os VEs têm sido mais caros do que os MCI devido ao alto custo das baterias e outros componentes. No entanto, o custo das baterias tem diminuído constantemente nos últimos anos e deve continuar a diminuir. Isso se deve em parte aos avanços na tecnologia de baterias, maior capacidade de produção e economias de escala. Outro fator que está ajudando a reduzir o custo dos VEs é o aumento da concorrência. À medida que mais montadoras entram no mercado com seus próprios veículos elétricos, é provável que os preços se tornem mais competitivos. Assim, embora o custo dos VEs tenha sido um grande desafio para a adoção da eletromobilidade, a situação está melhorando rapidamente.

4.7.5. Análise do Fator 5

A mobilidade urbana é entendida como sistêmica pelos respondentes (Statement 25, $P < 0,2$, $Z = 1,9$), pois deve ser compreendida sob um olhar sistemático e estruturado, visando integrar os diversos modais. Os apoiadores deste fator ainda concordaram com: 9, incentivos fiscais do governo necessários para impulsionar a EM; 23, a EM contribui para a saúde; 24, a associação ou cooperação da Tríplice Hélice como desafio; e 3, a preocupação com o meio ambiente é uma oportunidade. Neste fator há discordância com as declarações: 4, hibridização como estágio inicial da EM; 27, tempo de carregamento é alto; 20, mercado automobilístico como oportunidade; e 18, FCEVs são o futuro. No fator 5, apenas uma afirmação apresentou escore Z significativo (Tabela 7): statement 4.

Assim, os respondentes concordam que a EM contribui para a saúde pública, pelas baixas emissões e sua contribuição à pegada de carbono (Statement 23, $P < 0,1$, $Z = 1,47$).

O fator 5 está relacionado a nove variáveis. As relações mais fortes são com a mobilidade urbana (1,90) e incentivos fiscais (1,82), mas também com impactos positivos na

saúde da população (1,47) e o desafio de integrar empresas, universidades e governo em iniciativas para converter conhecimento em inovações no mercado automobilístico (1,07). No espectro negativo, considera-se que não há grande impacto da hibridização na adoção de EM (-1,96), bem como nos tempos de recarga (-1,66). Não se considera que haja uma grande tendência relacionada às células de combustível (-1,46) ou ao potencial do mercado automotivo no Brasil reforçando a adoção de VE (-1,48). Considerando essas variáveis, decidiu-se nomear o fator 5 como a melhoria da mobilidade urbana, pois depende de incentivos fiscais e sinergia.

Um dos exemplos, neste tema, pode ser verificado na resposta de um respondente do setor privado:

“A poluição, decorrente da utilização de veículos pesados, representa um alto custo de saúde pública nos grandes centros urbanos”.

A mobilidade urbana deve ser entendida como um sistema interconectado que abrange não apenas o deslocamento de casa para o trabalho, mas também o acesso a serviços essenciais, como academias, restaurantes, centros de saúde, e áreas comerciais. Essa integração pode:

- Facilitar a mobilidade urbana por meio da adoção do conceito de “cidade dos 15 minutos”, que busca organizar micro bairros onde as principais funções — trabalho, serviços, lazer e comércio — estejam a uma curta distância, reduzindo a necessidade de deslocamentos extensos e promovendo uma nova socialidade de proximidade (CREMASCHI, 2021).
- Promover estilos de vida mais ativos e saudáveis, ao facilitar o acesso a serviços e espaços de lazer.
- Melhorar a qualidade do ar, ao substituir MCIs por soluções de transporte mais limpas.

Essa abordagem é especialmente relevante em economias emergentes, onde o crescimento urbano acelerado exige uma revisão dos sistemas de transporte e uma maior ênfase na mobilidade sustentável.

Embora a micromobilidade — como bicicletas e scooters elétricas — não tenha emergido como uma variável central neste fator, sua importância pode crescer à medida que o debate sobre EM se expande para além da perspectiva dominada pela indústria automobilística tradicional. Isso reflete, em parte, a falta de uma discussão mais ampla sobre alternativas de transporte sustentável em ambientes urbanos, ainda amplamente influenciada por uma cultura de automóveis individuais (SOVACOOOL *et al.*, 2019b).

A melhoria da mobilidade urbana por meio da EM dependerá de um alinhamento estratégico entre academia, indústria e governo. É necessário fomentar uma visão compartilhada sobre o futuro da mobilidade urbana que leve em consideração:

- Incentivos fiscais que tornem os VEs mais acessíveis e competitivos.
- Colaboração entre universidades e empresas para acelerar o desenvolvimento de inovações aplicáveis ao contexto urbano.
- Políticas públicas que incentivem a adoção de soluções sustentáveis, com foco na integração multimodal e na qualidade dos serviços de transporte público.

Dessa forma, o Fator 5 reflete a necessidade de uma abordagem holística para a mobilidade urbana, onde a EM surge como uma peça fundamental para melhorar a qualidade de vida nas cidades brasileiras e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais associados ao transporte tradicional.

O grupo de pesquisa nominou esse fator 5 de **mobilidade urbana sistêmica**. A mobilidade urbana ser entendida numa perspectiva sistemática e estruturada que visa a integração dos diferentes modos. Para criar um sistema de transporte urbano eficiente e sustentável, é importante considerar todos os diferentes meios de transporte disponíveis, incluindo caminhada, micro mobilidade, transporte público e veículos particulares.

Ao adotar uma abordagem sistemática e estruturada para a mobilidade urbana, os planejadores da cidade podem identificar os pontos fortes e fracos de cada modo de transporte e encontrar maneiras de integrá-los de forma a maximizar seus benefícios e minimizar suas desvantagens. Isso pode levar a um sistema de transporte mais eficiente, econômico e ambientalmente sustentável.

Além disso, ao integrar diferentes modos de transporte, as cidades podem oferecer mais opções de transporte para seus residentes, o que pode melhorar o acesso a empregos, saúde, educação e outros serviços essenciais. Isso também pode ajudar a reduzir o congestionamento do tráfego, melhorar a qualidade do ar e promover estilos de vida mais saudáveis e ativos.

4.7.6. Análise do Fator 6

O fator 6 é caracterizado pelo fato de que para os respondentes a infraestrutura de eletropostos é um desafio (Statement 6, $P < 0,05$, $Z = 2,18$) em um país do tamanho do Brasil. Há ainda concordância em 7, baterias elétricas como desafio; e 4, hibridização como estágio inicial da EM, as discordâncias estão em 20, mercado automobilístico como oportunidade; 8, indústria automobilística como oportunidade; 22, os pesados (ônibus e caminhões) são uma grande oportunidade; 9, incentivos fiscais do governo necessário para impulsionar a EM; e 10,

desenvolvimento tecnológico como oportunidade. No fator 6, duas afirmações apresentaram escore Z significativo (Tabela 7): statements 6 e 20.

Já vimos que para tornar o VE competitivo no mercado, uma série de desafios precisam ser resolvidos, como: custo da bateria e do investimento inicial de aquisição, estratégias de carregamento eficientes, interoperabilidade das estações de carregamento (eletropostos) e o impacto da integração do VE à rede elétrica. Entretanto, o progresso da infraestrutura de carregamento dos VE é importante para a expansão do seu mercado (DAS *et al.*, 2020b). A autonomia do VE é uma preocupação dos consumidores na escolha deste e a ausência de estações de recarga nas estradas dificulta o mercado. Um respondente do setor privado relatou:

“A disseminação de VEs deve estar intimamente ligada à implantação de infraestrutura de recarga. Sendo assim, o ideal é priorizar a ampliação da rede de eletropostos”.

O mercado automobilístico é visto como um desafio (Statement 20, $P < 0,01$, $Z = -2,51$), pois os custos e a pequena rede de recarga dos VE não são atrativos. Com efeito, existem muitas incertezas em torno do VE, incluindo a vida da bateria, a disponibilidade de carregamento (se está ocupada por outros quando necessário), depreciação etc. Além disso, estudos exploratórios já descobriram que a incerteza é uma das principais barreiras para a adoção de VE. Exemplificando esse desafio, um representante do setor privado relatou:

“O Brasil ainda não tem um mercado forte de VEs”.

O fator 6 reflete um consenso sobre os desafios da infraestrutura de recarga (2,18) e das baterias (1,92), bem como sobre a hibridização como ponto de partida para a adoção da eletromobilidade no Brasil (1,22). No lado negativo, há cinco discordâncias, começando pelo potencial do mercado automotivo no Brasil (-2,51), que não é visto como uma oportunidade, assim como os veículos pesados (-1,22) e a presença de um parque industrial automotivo desenvolvido (-1,25). Além disso, não atendeu a demanda por incentivos fiscais (-1,22) ou oportunidades de desenvolvimento de tecnologia (-1,00). Considerando todas as variáveis influentes, denominamos esse fator como "**rotas técnicas para introduzir a EM**", o que significa que os veículos elétricos devem ser híbridos, ter uma infraestrutura de recarga bem desenvolvida e ser equipados com baterias robustas para terem sucesso no Brasil.

A fim de mitigar essas barreiras, a expansão da infraestrutura de recarga deve ser planejada estrategicamente ao longo das principais rodovias do país como corredores verdes,

facilitando o deslocamento de VE por todo o território brasileiro sem preocupações com a falta de suprimento energético (ER RAQABI; LI, 2023). A adoção de tecnologias como o *Vehicle-to-Grid* (V2G) também é crucial para garantir a estabilidade da rede elétrica e evitar sobrecargas (TIRUNAGARI; GU; MEEGAHAPOLA, 2022). Nesse sentido, o Sistema Interligado Nacional (SIN), que conecta diversas regiões do Brasil por meio de uma ampla rede de distribuição de energia, pode ser um pilar fundamental para sustentar essa expansão (CAMPELLO *et al.*, 2023).

Assim, o sucesso da EM no Brasil depende de uma abordagem integrada que combine o desenvolvimento técnico de HEVs e VEs com a implementação de uma infraestrutura robusta e estrategicamente distribuída de recarga, capaz de atender às necessidades tanto urbanas quanto de longas distâncias.

A infraestrutura de carregamento de VEs é um desafio para a EM para uma país continental como o Brasil. Embora o país tenha feito algum progresso no desenvolvimento de sua infraestrutura de carregamento nos últimos anos, ainda está atrás de muitos outros países nesse aspecto.

4.7.7. Análise do Fator 7

O fator 7, denominado **“oportunidade ambiental para educação e mobilidade urbana”**, destaca o potencial da EM para reduzir significativamente as emissões de CO₂ no setor de transporte, contribuindo para a descarbonização e melhoria da qualidade do ar em áreas metropolitanas. Em países emergentes como o Brasil, recomenda-se a ampliação do uso de biocombustíveis, especialmente o etanol, como uma solução complementar à eletrificação do transporte (FLÓREZ-ORREGO; SILVA; OLIVEIRA, 2015). Essa abordagem reflete o potencial de cada país para reforçar suas vantagens competitivas e avançar na transição energética (ARRIBAS-IBAR; NYLUND; BREM, 2021).

Um ponto importante para esse fator é o impacto positivo observado durante a pandemia da COVID-19, que reduziu o estresse nos sistemas de transporte urbano, diminuindo a poluição e aumentando a sensibilidade ambiental global (ARRIBAS-IBAR; NYLUND; BREM, 2021). Esse evento destacou a importância de buscar alternativas sustentáveis para o transporte urbano, promovendo uma cultura social mais consciente em relação ao meio ambiente (ZHU, L. *et al.*, 2019).

Durante a pesquisa, os escores Z demonstraram que a oportunidade ambiental dos veículos elétricos foi o tema mais influente ($Z = 2,08$), seguido pela necessidade de capacitação e educação da força de trabalho para suportar essa transição tecnológica ($Z = 1,76$) e pelos impactos gerais da EM na mobilidade urbana ($Z = 1,39$). Essas oportunidades superaram os desafios percebidos em outras áreas, indicando que o fator é amplamente positivo para a adoção de VE no Brasil.

Entretanto, algumas dificuldades foram identificadas, como a necessidade de mudanças na infraestrutura ($Z = -2,17$), os custos elevados dos veículos elétricos ($Z = -1,52$), a complexidade nas relações da hélice tripla (governo, academia e setor privado) ($Z = -1,44$) e os tempos de carregamento ($Z = -1,39$). Apesar disso, esses aspectos não são vistos como barreiras intransponíveis, mas como desafios que podem ser superados com planejamento e investimentos adequados.

Há um debate em andamento sobre o papel dos biocombustíveis na EM. Embora alguns considerem que os biocombustíveis possam dificultar o avanço dos VEs, evidências indicam que eles podem funcionar como tecnologias complementares. Os HEVs, que combinam motores elétricos com combustíveis como o etanol (*flex fuel*), podem servir como uma solução de transição até que os VEs conquistem maior aceitação no mercado internacional (COSTA, Evaldo *et al.*, 2020; MIELNIK; SERIGATI; GINER, 2017). Esse cenário apresenta um dilema para a indústria automobilística brasileira, que tende a retardar os investimentos em VE devido à incerteza regulatória e à necessidade de equilibrar as oportunidades oferecidas pelos biocombustíveis, tradicionalmente apoiados pelo governo, com os riscos inerentes às novas tecnologias (COSTA, Evaldo *et al.*, 2020).

Portanto, o fator 7 evidencia que a EM no Brasil deve ser encarada como uma oportunidade estratégica para a redução de emissões de GEE e a transformação do setor de transporte, ao mesmo tempo em que incentiva a requalificação da mão de obra e promove soluções complementares, como o etanol, para alcançar uma transição energética bem-sucedida. A afirmação, “a preocupação com o meio ambiente é uma oportunidade” (Statement 3, $P < 0,01$, $Z = 2,08$), encontrou concordância dos respondentes. Os apoiadores deste fator concordam com ainda as declarações: 16, capacitação, educação e treinamento exigirão uma requalificação dos profissionais no mercado; e 25, mobilidade urbana entendida como sistêmica; e, discordam de: 6, infraestrutura de eletropostos é um desafio; 1, o investimento (custo) em VE é um desafio; 24, a associação ou cooperação da Tríplice Hélice como desafio;

e 27, tempo de carregamento é alto. No fator 7, duas afirmações apresentaram escore Z significativo (Tabela 7): statements 3 e 6.

Um representante da academia relatou o seguinte sobre o meio ambiente:

“O grande responsável pelos danos ao meio ambiente é o particulado resultante da queima de combustíveis fósseis”.

Sobre o ponto de requalificação da mão de obra, um representante do governo relatou:

“A EM necessita de uma capacitação da mão de obra a nível nacional”.

E sobre a questão da mobilidade entendida como sistêmica, um respondente do governo relatou:

“Apesar de haver projetos de lei no Senado a despeito da EM, não existe uma política pública que explicita o caminho a ser seguido, o que representa uma grande ameaça”.

Como um país em desenvolvimento com população e economia em crescimento, o Brasil enfrenta desafios ambientais significativos, incluindo poluição do ar, desmatamento e mudanças climáticas. A EM pode ajudar a mitigar esses desafios, reduzindo as emissões de GEE e melhorando a qualidade do ar. Além disso, a EM pode ajudar a reduzir a dependência brasileira de petróleo importado e aumentar a segurança energética. A questão ambiental apresenta uma oportunidade para a EM no Brasil, e o país tem potencial para se tornar líder em transporte sustentável.

4.8. Tabela de Dupla Entrada

A Tabela 8 traz somente os autores dos trabalhos mencionados e no Anexo 2, está a devida referência da citação no trabalho mencionado. Assim, nestes cruzamentos das 28 opiniões (statements) com as seis categorias inicialmente encontradas (Tabela 5) buscou-se na literatura científica selecionada da base de dados Scopus (285 documentos), as evidências dessa codificação focalizada. Aqui, houve uma modificação nas categorias, pois não se encontrou na literatura acadêmica artigos na categoria Educação, assim ela foi substituída por Custo.

Tabela 8: Confronto conceitual das opiniões versus a literatura científica encontrada.

Statement	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz energética
1	(Safarzyńska; van den Bergh, 2018)			(Safari, 2018; Zhang; Hanaoka, 2021)	(Sovacool et al., 2019d)	(Petrauskiene et al., 2020)
2		(Andaloro et al., 2016)			(Wang; Wells, 2020)	
3	(Balacco et al., 2021; Plazier; Weitkamp; van den Berg, 2017)			(Rieck; Machielse; van Duin, 2020)	(Kastner et al., 2021)	
4	(Abdul-Manan et al., 2020; Pareschi et al., 2020)			(Ala, G. et al., 2020)	(Cansino; Sánchez-Braza; Sanz-Díaz, 2018; Pollák et al., 2021)	(Carlucci; Cirà; Lanza, 2018)
5	(Zhang, T. et al., 2019)	(Kowalska-Pyzalska; Kott; Kott, 2020)	(Glensor, K.; María Rosa Muñoz, 2019)	(Cansino; Sánchez-Braza; Sanz-Díaz, 2018)	(Balacco et al., 2021; Harrison; Thiel, 2017)	
6	(Harrison; Thiel, 2017)	(Cao et al., 2018)	(Bernardo; Borrell; Perdiguero, 2016)	(Cilio; Babacan, 2021a; Pagany; Ramirez Camargo; Dörner, 2019)	(Melliger, M. A.; van Vliet; Liimatainen, 2018; Mourad et al., 2021)	(Venugopal et al., 2018)
7	(Ambrose; Kendall, 2016)	(Zhang; Hanaoka, 2021)	(Schücking et al., 2017)	(Safari, 2018)		(Zhang; Hanaoka, 2021)
8	(Patella et al., 2019)	(Berkeley et al., 2017)	(Sharma; Zanotti; Musunur, 2019)	(Sovacool et al., 2019d)	(Skjølsvold; Ryghaug, 2020)	

Statement	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz energética
9	(Canals Casals, L.; Amante García, 2016)	(Harrison; Thiel, 2017)	(Harrison; Thiel, 2017)	(Berkeley et al., 2017)	(Berkeley et al., 2017; Canals Casals, L.; Amante García, 2016)	(Morlock; Sawodny, 2018)
10			(Mierlo et al., 2021; Morlock; Sawodny, 2018)	(Hsieh et al., 2019)	(Sovacool; Kester; Heida, 2019; Wolf; Korzynietz, 2019)	(Sanguesa et al., 2021)
11	(Weiss; Cloos; Helmers, 2020)					
12	(Glensor, K.; María Rosa Muñoz, 2019)	(Kotilainen et al., 2019)			(Glensor, K.; María Rosa Muñoz, 2019)	
13	(Vidhi; Shrivastava, 2018)	(Sovacool et al., 2019b)	(Safarzyńska; van den Bergh, 2018)	(Kühnbach et al., 2020)	(Vidhi; Shrivastava, 2018)	(Vidhi; Shrivastava, 2018)
14	(Lim; Taeihagh, 2019; Vidhi; Shrivastava, 2018)		(Aymen; Mahmoudi, 2019)	(Połom; Wiśniewski, 2021; Rücker et al., 2020)	(Bezruchonak, 2019; Połom; Wiśniewski, 2021)	(Kobashi et al., 2021)
15	(Morlock; Sawodny, 2018)		(Ambrose; Kendall, 2016)		(Gonçalves et al., 2020)	
16					(Elias; Gitelman, 2018)	
17	(Elias; Gitelman, 2018)	(Sovacool et al., 2019b)			(Sovacool et al., 2019b, 2019d)	

Statement	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz energética
18		(Harrison; Thiel, 2017)	(Fernandez-Sanchez; Fernandez-Heredia, 2018)		(Harrison; Thiel, 2017)	(Luca de Tena; Pregger, 2018)
19	(Boyacı; Zografos, 2019)	(Jung; Koo, 2018)	(Kostic <i>et al.</i> , 2021; Vosooghi <i>et al.</i> , 2020)	(Ampudia-Renuncio <i>et al.</i> , 2020; Boyacı; Zografos, 2019)	(Almannaa <i>et al.</i> , 2021)	
20		(Harrison; Thiel, 2017)		(Almannaa <i>et al.</i> , 2021; Bigerna; Micheli, 2018; Sharma; Jain, 2020)		
21		(CGEE, 2010a)	(Mohamed, 2019; Rodríguez-Molina, J. <i>et al.</i> , 2020)	(Bagheri Tookanlou; Pourmousavikani; Marzband, 2021; Sharma; Jain, 2020)	(Hsieh <i>et al.</i> , 2019; Sun; Neumann; Harrison, 2020)	(Huang <i>et al.</i> , 2020; Sovacool <i>et al.</i> , 2019b)
22	(Bi <i>et al.</i> , 2016; Globisch, J.; Dütschke; Wietschel, 2018; Wang; Wells, 2020)	(Riedner <i>et al.</i> , 2019)	(Zhang, J. <i>et al.</i> , 2019)	(Potkány <i>et al.</i> , 2018)	(Glensor, K.; María Rosa Muñoz, 2019)	(Monios; Bergqvist, 2019)
23	(Vidhi; Shrivastava, 2018)				(Fraile-Ardanuy <i>et al.</i> , 2018; Rith; Fillone; Biona, 2020)	(Huang <i>et al.</i> , 2020)
24		(Richter; Haas, 2020)			(Berkeley <i>et al.</i> , 2017)	(Kobashi <i>et al.</i> , 2021)

Statement	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz energética
25		(Fraile-Ardanuy <i>et al.</i> , 2018)	(Richter; Haas, 2020)		(Porru <i>et al.</i> , 2020)	
26	(Vidhi; Shrivastava, 2018)	(Ala, G. <i>et al.</i> , 2020)	(Wolf; Korzynietz, 2019)	(Vidhi; Shrivastava, 2018)		
27		(Cao <i>et al.</i> , 2018)	(Bigema; Micheli, 2018)	(Sheppard, C. J. R. <i>et al.</i> , 2016)	(Hsieh <i>et al.</i> , 2019)	(Ligen; Vrubel; Girault, 2018)
28	(Apostolou; Reinders; Geurs, 2018; Balacco <i>et al.</i> , 2021)			(Ewert <i>et al.</i> , 2020)	(Plazier; Weitkamp; van den Berg, 2017)	(Gammon; Sallah, 2021)
Total	24	18	19	26	33	16

Este exercício de tabela de dupla entrada de confrontarmos os *statements* com a literatura científica permite que as macros categorias inicialmente propostas no framework de análise inicial (Tabela 5) possam ser validadas. Durante essa etapa da pesquisa alteramos um dos fatores – Educação – para – Custo, em função da pertinência deste em relação àquele. (SCHAFER, 2012) apresenta uma lista de cursos recomendáveis tanto para VEs quanto para mobilidade, entretanto apesar da importância da capacitação na EM não houve documentos suficientes para justificar sua manutenção.

Ao final da Tabela 8 somamos as referências dos 136 documentos encontrados, ou seja 48% dos 285 lidos. Infere-se, assim, a importância dos fatores pelo número de documentos encontrados em: ações governamentais (33), custo (26), meio ambiente (24), tecnologia (19), cadeia produtiva (18) e matriz energética (16). A EM no Brasil é um tema que não se encontra isolado de uma discussão internacional ampla de transição energética, como vimos, e, as opiniões dos entrevistados estão espelhadas nos trabalhos científicos, ou seja, as opiniões encontram abrigo nos questionamentos científicos. Isso ajuda a validar as categorias emergentes da codificação focalizada.

4.9. Codificação Teórica (GT)

De forma a validar as categorias identificadas no *framework de análise inicial* (Tabela 5), realizamos uma pesquisa online com 34 dos 61 entrevistados anteriormente identificados, sendo: 16 (47%) pertencentes a empresas ou setor privado, 11 (32%) do governo ou agência governamental e 7 (21%) da academia. 50% dos respondentes responderam que possuía familiaridade com o tema da EM de 6 a 10 anos e 20,6 % responderam que tinham familiaridade igual ou menor a cinco anos. Assim, a maior parte (24 ou 70,6%) dos entrevistados tem uma experiência de até 10 anos com o tema. A pesquisa foi realizada online utilizando o software *Q Method*.

4.9.1. Resultados da pesquisa online do Framework (GT)

Na resposta de múltipla escolha sobre quais são os fatores que mais contribuem para a EM no Brasil foi obtido os seguintes resultados conforme a Tabela 9 a seguir. Assim, as seis categorias identificadas inicialmente (Tabela 5) na GT foram perguntados: ações governamentais, tecnologia, cadeia produtiva, meio ambiente, matriz energética e educação.

Tabela 9: Fatores que mais contribuem para a EM no Brasil

Fatores	Academia	Governo	Empresa	Total	%
Ações governamentais por meio de incentivos fiscais e regulamentações	5	5	10	20	20,4
Avanços tecnológicos como hibridização veicular, custo menor de baterias e tempo menor de carregamento	5	7	9	21	21,4
Matriz energética mais limpa e com a eficiência dos veículos	3	8	8	19	19,4
Cadeia Produtiva com o parque tecnológico nacional e a cadeia de minerais estratégicos	3	4	9	16	16,3
Meio ambiente com menor poluição aérea que contribui com a saúde	2	7	6	15	15,3

Fatores	Academia	Governo	Empresa	Total	%
Educação com a requalificação de profissionais	2	3	2	7	7,1
Total	20	34	44	98	100

Os três fatores que se destacam são: avanços tecnológicos, ações governamentais e matriz energética. Assim, o desenvolvimento tecnológico necessita impulsionar o decaimento do preço das baterias e a consequente popularização dos VE. Isso é relatado por um respondente do setor privado que exemplifica:

“Sem subsídios, a eletrificação só é viável economicamente para os veículos de alto custo”.

As ações governamentais consideradas importantes para a EM encontram uma baixa regulamentação do tema no país e não sustentam a segurança necessária nos investimentos seja dos OEMs e de seus fornecedores da cadeia produtiva (1º e 2º tier), ou dos fornecedores da infraestrutura. As ações necessitam regular preços diferentes para a energia elétrica de forma a incentivar o carregamento nos horários de menor demanda e que não causem sobrecargas ao sistema de distribuição de energia e incentivando soluções bidirecionais de V2G (*vehicle to grid*) (LUCA DE TENA; PREGGER, 2018).

Os subsídios que fazem países como a Noruega serem sucesso na transição para a EM estão ausentes no Brasil (CONSONI, Flávia Luciane *et al.*, 2018; VELHO; BARBALHO, 2019). O sucesso da Noruega, no contexto de altos padrões de vida, eletricidade barata e políticas ambientais favoráveis, é baseado em seu pacote de incentivos ao consumidor que coloca os BEV no mesmo nível dos MCI em termos de preço. Além de incentivos generosos, eles realizaram investimentos significativos em infraestrutura de carregamento, especialmente nas cidades.

O terceiro fator de destaque é sobre a matriz energética no qual o Brasil se diferencia do restante do mundo, pois utiliza 49,1% das energias renováveis (AGÊNCIA BRASIL, 2024), devido à geração hidrelétrica que responde pela maior parte da geração elétrica total. O uso de energia renovável na recarga do VE é fundamental para garantir a redução das emissões de CO₂ do ciclo de vida (COSTA, Evaldo *et al.*, 2018).

Os entrevistados também contribuíram para definir qual é a melhor estratégia de introdução da EM no Brasil e as respostas de múltipla escolha estão apresentadas na Tabela 10 a seguir. Buscou-se saber qual seria o melhor caminho a ser seguido, segundo os respondentes.

Tabela 10: Qual é a melhor estratégia de introdução da EM no Brasil.

Estratégia	Academia	Governo	Empresa	Total	%	Acum.
Nas cidades com transporte de qualidade em ônibus, trólebus e VLT elétricos	6	10	10	26	18,3%	18,3%
Com o uso de frotas de caminhões leves de entrega nas cidades	6	8	9	23	16,2%	34,5%
Regulamentação para redução progressiva do uso de combustíveis fósseis nas cidades	4	6	10	20	14,1%	48,6%
Utilizando levíssimos (motocicletas, bikes e patinetes elétricas)	4	6	6	16	11,3%	59,9%
Incentivos fiscais governamentais para reduzir o investimento na compra	2	4	8	14	9,9%	69,7%
Por meio da hibridização veicular (HEV ou PHEV) utilizando etanol/energia	4	4	5	13	9,2%	78,9%
Maior oferta de modelos de veículos elétricos (pesados, leves e levíssimos)	0	3	5	8	5,6%	84,5%
Desenvolvendo tecnologias inovadoras de baterias de menor custo e menor tempo de recarga	3	3	2	8	5,6%	90,1%
Difundindo a cultura de compartilhamento de veículos elétricos	1	3	4	8	5,6%	95,8%
Infraestrutura adequada de eletropostos em rodovias	0	3	3	6	4,2%	100,0%
Total	30	50	62	142	100,0%	

Assim, as seis primeiras estratégias da Tabela 10 perfazem quase 80% das respostas dos entrevistados. Percebe-se a importância das cidades na EM por meio da introdução de meios de transporte de qualidade, um movimento que vem ganhando as ruas, pois a eficácia das frotas de ônibus mais limpos foi reconhecida mundialmente, como pode ser visto pela Rede C40 de Grandes Cidades, e, onde na recente Declaração de Ônibus Limpos (*C40 Clean Buses Declaration*) nas quais 22 cidades signatárias se comprometeram a converter 25% dos veículos em veículos mais limpos (FERNANDEZ-SANCHEZ; FERNANDEZ-HEREDIA, 2018).

Exemplos de cidades sul-americanas como Santiago no Chile ou Bogotá na Colômbia estão influenciando cidades brasileiras como São Paulo, Curitiba e Salvador.

O uso de frotas de caminhões leves para entregas nos centros de grandes cidades já é uma realidade brasileira para serviços de entrega (*e-delivery*) como para uma grande distribuidora de bebidas nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro (AXSEN; SOVACOOOL, 2019; REV.PLANETA, 2020). Iniciativas como esta são exemplos positivos que influenciam outros atores importantes na transição.

As *e-bikes* (bicicletas e *scooters* elétricas) ocupam um volume menor melhorando o congestionamento nas grandes cidades, sendo uma solução para a ‘última milha’. O estudo de (CAIRNS *et al.*, 2017) mostra que, quando as *e-bikes* são disponibilizadas, elas são usadas; que uma proporção de viagens de *e-bike* normalmente substitui o uso de carro; e que muitas pessoas que participaram dos testes ficaram interessadas no uso futuro de *e-bike*, ou andar de bicicleta de forma mais geral. Aqui o sistema de compartilhamento ‘*one-way*’ deve ser incentivado pelos gestores municipais, junto com medidas como aumento da largura de faixas próprias de circulação e melhora na questão da segurança como limite máximo de velocidade.

A transição para a EM é altamente complexa e, como resultado, a aceitação de VE foi menor do que o esperado na maioria dos países até o momento (ZOLFAGHARIAN *et al.*, 2021). Os resultados de alguns cenários analisados por (ZHANG, R.; HANAOKA, 2021) mostraram que os subsídios para a adoção de VE aumentariam significativamente a participação de mercado e promoveriam uma rápida transição para longe dos combustíveis fósseis, enquanto o cenário ‘*business-as-usual*’ geraria apenas uma influência moderada na transição. Isso demonstra como os incentivos fiscais na compra do VE, apesar de decrescentes à medida que a aceitação dos usuários cresce (IEA, 2020), são ainda importantes.

A última estratégia de destaque é a hibridização veicular (HEV), que, segundo dados da (ABVE, 2021), a tecnologia híbrida seria a mais adotada pelos usuários, assim como já ocorre na Itália (ALA, Guido *et al.*, 2020), principalmente devido a fatores socioeconômicos como custo do investimento e ansiedade de alcance (*range anxiety*). Entretanto, como vimos, isso se alterou no ano de 2024, quando os PHEVs e BEVs superaram os HEVs no número de licenciamentos.

Perguntado aos entrevistados qual deveria ser o papel do governo no desenho da EM, obteve-se as respostas de múltipla escolha sinalizadas na Tabela 11.

Tabela 11: Qual deve ser o papel do Governo no desenho da EM (múltipla resposta).

Papel do Governo	Academia	Governo	Empresa	Total	%
Promover a pesquisa, desenvolvimento tecnológico e a inovação nas indústrias e Instituições de Ciência e Tecnologia	5	10	7	22	28,6%
Liderança no ecossistema da eletromobilidade (indústria, academia e governos locais e regionais)	4	6	8	18	23,4%
Promover incentivos fiscais para compradores e indústrias de veículos elétricos	3	5	10	18	23,4%
Promover compras públicas direcionadas para o uso da eletromobilidade	3	5	5	13	16,9%
Promover melhor infraestrutura de eletropostos nas rodovias federais	0	2	4	6	7,8%
Total	15	28	34	77	100,0%

A análise da Tabela 11 aponta para a necessidade de promoção da P&D que está em sintonia com o fator de desenvolvimento tecnológico já apontado. As estimativas, segundo (BERKELEY *et al.*, 2017), sugerem que cerca de US \$ 13-16 bilhões foram gastos globalmente em instrumentos de subsídios entre 2008 e 2014, quase metade dos quais apoiou P&D. Países com indústrias automotivas mais fortes tendem a favorecer subsídios de P&D para aumentar o desenvolvimento de capacidades para transição à EM na indústria doméstica, enquanto os “países sem indústria de automóveis” favorecem os incentivos às vendas para estimular a difusão dos VE. Assim, isso deve ser perseguido como política para a manutenção da cadeia automotiva.

Destaca-se também como resultado da Tabela 11 o papel de liderança que deve ser exercido pelo governo no ecossistema da EM. Devido à baixa regulamentação, a falta de incentivos fiscais e a ausência de liderança governamental há uma evidente falta de segurança nos investimentos que são necessários ao país tanto na convergência da indústria automotiva como na infraestrutura necessária. Algumas iniciativas recentes ainda estão no Congresso Nacional que determinam a instalação de infraestrutura para a recarga de veículos elétricos nas edificações de uso coletivo (PLS nº808/2021) e o que cria o Programa de Modernização Veicular e Mobilidade Elétrica (MoVE Brasil) sobre as medidas de incentivo à transição para um transporte não poluente e, também dispõe, sobre a instalação de estações de recarga de VE (PLS nº2461/2021). Espera-se que esta pauta possa avançar para promover uma direção aos investidores brasileiros e estrangeiros.

Muitos países estão encorajando a compra de VE com apoio financeiro para lidar com o custo inicial mais alto de um VE e estimular o desenvolvimento do mercado e, assim, são importantes os incentivos fiscais ou não fiscais fornecidos (IEA, 2020). O regime automotivo brasileiro, do Rota 2030 – Mobilidade e Logística, foi aprovado em dezembro de 2018, confirmou o corte do Imposto Sobre Produtos Industrializados (IPI) dos veículos elétricos e híbridos, como já descrito anteriormente (CLARO JUNIOR; SANTOS, 2020). Em 2024, o programa de Mobilidade Verde e Inovação (Mover) foi sancionado pelo Presidente da República, consolidando novos estímulos para a descarbonização e inovação no setor automotivo brasileiro. Desde a criação do Mover, diversas empresas se habilitaram, o que tem impulsionado investimentos de R\$ 130 bilhões. O programa amplia os requisitos de sustentabilidade para veículos, introduz o IPI Verde e prevê R\$ 19,3 bilhões em créditos fiscais entre 2024 e 2028, vinculados a investimentos em P&D e novas tecnologias.

4.9.2. Categoria Central (*Core Category*) (GT)

O método da GT resulta em buscar uma ‘*core category*’. Assim, conforme (TAROZZI, 2011, p. 140), relata:

“Sem esse foco a codificação teórica se dispersa em vários meandros e fica sem um sentido unitário. Uma ‘core category’ é um conceito-chave, uma categoria central, nuclear, essencial que organiza o conjunto das categorias”.

Assim, o trabalho buscou validar um *framework* da EM no Brasil utilizando a GT e que adicionalmente foi validada por uma pesquisa com 34 respondentes sobre os principais fatores categorizados. Partiu-se de uma questão ampla sobre os desafios e oportunidades da EM no Brasil que levantou 856 opiniões de 61 entrevistados que foram inicialmente codificadas em 28 categorias. Estas foram interligadas e correlacionadas em categorias em um *framework*.

As categorias inicialmente propostas – tecnologia, ações governamentais, matriz energética, cadeia produtiva e educação – foram avaliadas em suas interligações com a bibliografia (Tabela 8) e com o questionário aplicado. A categoria de educação foi substituída por Custo. Assim, conclui-se que o *framework* está mais bem qualificado conforme a Tabela 12 a seguir.

Tabela 12: Framework validado

Ações Governamentais	Tecnologia	Cadeia Produtiva	Meio Ambiente	Matriz Energética	Custo
(5) Regulamentação/leis/normas são ainda insuficientes	(18) Veículos a célula combustível são o futuro	(10) Desenvolvimento tecnológico como oportunidade	(3) A preocupação com o meio ambiente é uma oportunidade	(15) Eficiência energética e mecânica associada ao conforto é uma oportunidade	(1) O investimento (custo) em VE é um desafio
(9) Incentivos fiscais do governo necessários para impulsionar a EM	(4) Hibridização como estágio inicial da eletromobilidade	(20) Mercado automobilístico como oportunidade	(23) A EM contribui para a saúde	(13) Matriz energética contribui para a EM	(6) Infraestrutura de eletropostos é um desafio
(11) Políticas governamentais não são claras e comprometem a eletrificação	(7) Baterias elétricas como desafio	(2) Cadeia produtiva nacional ameaçada	(12) Biocombustíveis são desafios à EM	(21) EM como desafio para a distribuição de energia elétrica	
(22) Os pesados (ônibus e caminhões) são uma grande oportunidade	(27) Políticas governamentais não são claras e comprometem a eletrificação	(8) Indústria automobilística como oportunidade			
(28) Levíssimos são uma oportunidade		(26) Cadeia de minerais nacionais como oportunidade			
(14) Cidade/município oferece oportunidade aos pesados		(24) A associação/cooperação da triplíce hélice como desafio			
(17) Modelos de negócio tem impulsionado a eletrificação no transporte público		(16) Capacitação/educação/treinamento exigirá uma requalificação de profissionais no mercado			
(25) Mobilidade urbana entendida como sistêmica					
(19) A cultura do compartilhamento de veículos ajuda à EM					

Fonte: o próprio autor.

O país iniciou a década de 2020 por meio de um processo de hibridização (statement 4) da frota de VE ainda de maneira incipiente segundo os dados da ABVE, mas também recorrente em outros países, que se alterou, talvez, definitivamente a partir de 2024, com a superação dos PHEVs e BEVs no licenciamento.

Os desafios tecnológicos de rebaixamento de custos (*statement 1*) e preços por meio de baterias elétricas mais baratas e eficientes está em curso, bem como o provimento de infraestrutura de carregamento com soluções que não prejudiquem a distribuição energética. Tecnologias V2G devem sustentar esse crescimento lento, mas gradual da transição para a EM, mas um processo de regulação que vai da monetização da energia revendida à possibilidade de compra da energia estocada deve ainda ocorrer, o que pode minimizar os investimentos em infraestrutura (*statement 6*).

A ausência de ações governamentais no país (*statement 11*) e a ainda baixa regulamentação (*statement 5*) não incentivam os investimentos que o setor necessita e esperam-se estratégias de investimento em P&D, que viabilizem a eletrificação como baterias de menor custo (*statement 7*). O governo deve assumir um papel de liderança no ecossistema da EM de forma a garantir a competitividade da cadeia automobilística nacional, como vem demonstrando já em 2024. A promoção de incentivos fiscais (*statement 9*) é importante nessa fase inicial de desenvolvimento e devem cair assim que os consumidores optem por novas soluções mais sustentáveis.

As cidades são oportunidades (*statement 14*) para a eletrificação de frotas de ônibus, bem como de frotas de caminhões leves em seus centros urbanos. Entretanto é necessário novos regimes de concessão de forma a incentivar novos *players*, como ocorreu na cidade de Santiago (Chile), algo que já está ocorrendo no país (GÓMEZ-LOBO; BRIONES, 2013).

A matriz energética é uma vantagem brasileira (*statement 13*) que pode por meio da hibridização utilizar fontes renováveis de combustíveis (*statement 12*) em programas de sucesso como ocorreu com o PROALCOOL da década de 1970 (DUNHAM; BOMTEMPO; FLECK, 2011). Deve-se focar incentivos de P&D para tecnologias ainda não maduras como a de célula combustível (FCEV), pois o país tem potencial na produção do hidrogênio de baixo carbono (*statement 18*).

Por fim, com a pesquisa realizada on-line com 34 entrevistados e com a categorização focalizada da Tabela 7, valida-se as categorias: ações governamentais, tecnologia, cadeia produtiva, meio ambiente, matriz energética e custo, que constituem a “*core category*” da eletromobilidade resultado da aplicação da GT.

4.10. Interpretação dos Dados

4.10.1. Análise dos Z-scores dos respondentes

A quarta etapa do método Q é interpretar os fatores, por meio dos Z-scores significativos, às vezes acompanhada por uma fase de validação com “carregadores” (*) nos fatores (Tabela 13). Nos referimos à associação de alguns dos 38 respondentes (anonimizados por códigos) da segunda fase de entrevistas online, identificados como setor privado (Emp.), governo (Gov.), academia (Acad.) e não identificado (Desc.) com os sete fatores, numerados de 1 a 7, por meio da seleção estatística do Q-sort (BANASICK, 2019). A variância de cada fator encontra-se na última linha, que somada chega-se a 52%, um dos critérios de seleção dos sete fatores.

No método Q, as declarações de distinção representam diferenças estatisticamente significativas entre a classificação em um fator em comparação com todos os outros fatores em $P < 0,01$ ou $P < 0,05$ (FRATE *et al.*, 2019).

Tabela 13: Matriz de fator com a definição de classificações sinalizadas

Matriz de fator com a definição de classificações sinalizadas (*)

Participantes		Posição	Carregamento de fator girado						
Part. No.	Q-sort		Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7
1	IZCG	Gov.	-0,0513	-0,4683*	-0,0386	-0,1473	0,0845	0,065	0,2587
2	7PNQ	Gov.	0,1874	0,2792	0,5668*	0,4011	-0,0125	-0,1479	-0,0575
3	VUV1	Gov.	0,2476	0,2227	0,1529	0,604*	0,1397	0,0181	-0,0974
4	QJS7	Acad.	0,0707	0,1211	0,7449*	-0,0506	-0,1274	0,1522	0,3186
5	LNYB	Desc.	-0,2012	-0,0844	-0,1089	-0,0231	-0,0603	0,6911*	0,0095
6	8EAC	Emp.	0,0725	-0,068	-0,0946	-0,1486	0,7837*	0,3051	0,1547
7	54XB	Gov.	0,3178	-0,0027	0,074	0,4169	0,2832	-0,3353	0,3103
8	8VA7	Emp.	0,047	0,1506	-0,2318	0,0113	0,5319*	0,3371	-0,1542
9	SK3W	Gov.	0,5037	-0,2925	-0,0592	-0,0367	0,4073	-0,3279	0,2021

Participantes		Posição	Carregamento de fator girado						
Part. No.	Part. No.		Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7
7	54XB	Gov.	0,3178	-0,0027	0,074	0,4169	0,2832	-0,3353	0,3103
8	8VA7	Emp.	0,047	0,1506	-0,2318	0,0113	0,5319*	0,3371	-0,1542
9	SK3W	Gov.	0,5037	-0,2925	-0,0592	-0,0367	0,4073	-0,3279	0,2021
10	8JPF	Emp.	0,0886	0,1196	-0,1839	0,1103	0,3982*	0,0315	0,0677
11	OWG1	Gov.	0,6251*	0,1332	0,1498	0,1142	0,1894	0,0373	0,0014
12	E3G5	Gov.	0,6229*	0,1041	-0,1311	0,0193	-0,103	-0,0141	-0,2165
13	GZYA	Gov.	-0,0739	-0,2092	0,2737	0,1324	-0,0516	-0,1658	0,0105
14	MUGK	Emp.	-0,1434	0,5056	-0,329	-0,0231	-0,0457	-0,1564	0,4423
15	ZKT0	Emp.	-0,0768	0,0925	0,5603*	-0,0477	0,2116	0,2106	0,4158
16	FF58	Emp.	0,0412	0,1736	0,1627	0,0105	0,1341	0,1217	0,1475
17	7ECQ	Emp.	0,0981	0,3856	0,0312	0,3255	0,5207	-0,309	-0,0131
18	JR3R	Acad.	-0,0771	-0,1338	-0,0805	0,6072	-0,0939	0,093	0,089
19	H03Q	Emp.	0,1005	0,5774*	-0,171	-0,0273	0,1341	0,2061	-0,0132
20	281K	Acad.	0,3585	0,0389	0,1202	0,0082	0,677	-0,0822	0,1798
21	ABN8	Desc.	0,0587	-0,0002	-0,3559	0,1968	-0,5358	0,2058	0,1156
22	AVQX	Emp.	0,1879	0,1855	-0,5791*	-0,0898	0,0642	0,033	0,0808
23	6SMW	Gov.	0,0541	0,3486	-0,6938*	0,0821	0,1829	-0,0746	0,1614
24	2579	Acad.	0,2709	0,2087	-0,111	-0,1425	-0,0556	0,0465	0,4055*
25	MXUN	Emp.	0,0295	-0,1116	0,5171*	-0,0361	0,1954	-0,1793	-0,2383
26	WH01	Acad.	0,0005	0,0711	-0,0562	-0,0328	-0,049	-0,0092	-0,5618*
27	0GBK	Emp.	0,6079*	0,0707	-0,0578	0,0218	0,1376	-0,1108	0,1472
28	TVTT	Gov.	-0,0013	0,0971	0,1993	0,1799	0,2144	0,7204*	-0,0703
29	C1HI	Acad.	0,0388	0,6212*	0,1069	0,1626	-0,1624	-0,2279	0,0859
30	OCN6	Emp.	-0,2373	-0,4881	-0,0241	0,3304	-0,2363	0,008	0,2131
31	BM4B	Acad.	0,1315	0,1136	0,3926	0,2682	-0,1006	-0,013	-0,3798
32	BZEC	Emp.	0,0266	-0,1322	0,0684	-0,1619	-0,0466	0,1594	-0,6897*
33	ZUWG	Emp.	0,581	0,0179	-0,0977	-0,0195	0,4225	-0,2511	0,5477
34	N41J	Desc.	0,2944	0,3376	0,0443	-0,2005	-0,3117	0,4053	-0,0612
35	LFPQ	Gov.	0,1366	0,6876*	-0,0083	0,0071	0,3399	-0,0361	0,2967

Participantes		Posição	Carregamento de fator girado						
Part. No.	Part. No.		Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7
36	Z1AW	Emp.	-0,0288	0,7189*	-0,1364	-0,1063	0,0232	0,2091	0,1465
37	UQ26	Emp.	0,0634	-0,0949	-0,3775	0,1881	0,3264	-0,0215	0,0582
38	LTB9	Desc.	0,5611	-0,0582	-0,175	0,4539	0,1598	0,4415	-0,17
Variância %			7	9	9	5	9	6	7
Matriz de fator com a definição de classificações sinalizadas (*)									

Assim, se percebermos na Tabela 13 os Z-scores com valores superiores a 0,5, temos que cinco apoiadores na amostra P pertencem ao Fator 1 (políticas governamentais), sendo três de governo (SK3W, OWG1 e E3G5), um de empresa (OGBK) e um não identificado (LTB9).

No fator 2, requalificação dos recursos humanos, há uma forte concordância dos cinco respondentes (um do Governo (LFPQ), três de Empresa (MUGK, HO3Q, 21AW) e um de Academia (C1HI)) que a capacitação, a educação e o treinamento exigirão uma requalificação de profissionais no mercado (*Statement* 16, $P < 0,2$; $Z = 2,22$). Percebe-se que a maioria dos respondentes, conforme a amostra P, são mais identificados com este fator são os do setor empresarial, reconhecendo uma fragilidade de capacitação nos profissionais necessários.

No fator 3 (desenvolvimento tecnológico), seis respondentes foram identificados com este fator, sendo três de empresa (ZKT0, MXUN e AVQX), dois de Governo (7PNQ, 6SMW) e um de academia (QJS7).

No fator 4 (custo dos VEs) tivemos apenas um respondente do governo (VUV1) identificado com este fator.

Os respondentes identificados com o fator 5 (mobilidade urbana sistêmica) foram cinco, sendo três de empresa (8EAC, 8VAC7, 7ECQ), um de academia (281K) e um não identificado (ABN8).

Dois respondentes foram identificados com o fator 6 (infraestrutura) sendo um de governo (TVTT) e um não identificado (LNYB).

Por fim, três respondentes foram identificados com o fator 7 (meio ambiente) sendo dois da academia (2579 e WH01) e um de empresa (B2EC).

A Tabela 14 a seguir sintetiza essa análise dos respondentes identificados com cada fator com Z-score acima de 0,5.

Tabela 14: Identificação de respondentes e fatores

FATOR	Governo	Empresa	Academia	Não Ident.
1	3	1		1
2	1	3	1	
3	2	3	1	
4	1			
5		3	1	1
6	1			1
7		1	2	
Total	8	11	5	3
% Total	29,6	40,7	18,5	11,1

Percebe-se na Tabela 14, que há uma predominância dos setores dos respondentes nos seguintes fatores: 1 (governo), 2 (empresa), 3 (empresa), 5 (empresa) e 7 (academia). Assim, é natural associar os servidores do governo a políticas governamentais, como no fator 1. Entretanto, é necessário aprofundar-se nessa identificação de setores dos respondentes nos fatores. Houve 31,6% (12 respondentes dos 38) que não foram identificados a fatores e 7,9% (3 respondentes dos 38) que não foram identificados a setores. Desta forma, não se pode concluir por uma certeza e recomenda-se novos estudos.

4.10.2. Consenso e declarações distintas (Metologia Q)

As declarações de consenso são aquelas que não fazem distinção entre os fatores. São conceitos de comum acordo, o começo do ponto de negociação entre as partes interessadas (*stakeholders*). Neste estudo, todos os sete fatores apoiam que a regulamentação as leis e as normas são ainda insuficientes (*Statement 5*). Isso encontra-se em sintonia com o fator 1, pois há uma necessidade maior da presença do Estado por meio do estabelecimento de políticas públicas que facilitem.

Isso pode ser verificado na revisão da literatura quando (CONSONI, Flávia Luciane *et al.*, 2018, p. 87) relatam que:

“Uma razão disso é a ausência de um consenso nacional em relação aos VE; em outras palavras, o Brasil ainda não decidiu como se posicionar, se fará apostas neste setor e se definirá metas a serem alcançadas no médio/longo prazo”.

Na fase inicial de entrevistas essa falta de regulamentação pode ser igualmente notada, como no exemplo de um respondente do setor privado:

“Existe ainda uma falta de regulamentação que resguarde as distribuidoras dos custos advindos das demandas de energia para os carregamentos dos veículos”.

Essa concordância geral resulta em muitas declarações recebendo pontuação Z semelhante, conforme mostrado na Tabela 15, que ordena as declarações de consenso até as declarações de discordância do final da tabela e de maior variância do Z-Score entre os fatores. Assim, verifica-se que existe concordância com os *statements*: 23, a EM contribui para a saúde; 14, cidade ou município oferece oportunidades aos pesados; e 17, modelos de negócio têm impulsionado a eletrificação no transporte público. Isso pode ser verificado nas respostas das entrevistas. Um respondente do setor privado relatou:

“A EM contribui para a qualidade do ar, pois os VEs não emitem materiais particulados, e isso favorece a saúde das pessoas”.

Um respondente do governo relatou, como exemplo:

“Tem uma lógica de entrada dessas tecnologias para você ter o máximo benefício. Por exemplo, do ponto de vista do conceito de eficiência sistêmica, que se verifica nas cidades europeias, que são bem servidas de transporte público de qualidade, como uma rede de metrô ampla, que permite o conceito de multimodalidade”.

As maiores discordâncias são em relação aos caminhos de como se dará a EM no Brasil, pois o caminho da hibridização (4), segundo os respondentes, não será o estágio inicial, bem como: 6, a infraestrutura de eletropostos é um desafio; e 1, o investimento (custo) em VE é um desafio. Apesar disto, dois respondentes do governo declararam sua concordância com a hibridização, mas que encontra apoiadores também do etanol como tecnologia à combustão.

“O veículo híbrido flexfuel já é uma adaptação da indústria brasileira e, isso aumenta os benefícios dos efeitos de emissão de gases de efeito estufa para esta tecnologia”.

“Os veículos híbridos fazem mais sentido para o contexto do Brasil que tem dimensões continentais”.

Um dos respondentes do setor privado relatou sobre a questão do etanol, que corrobora as discordâncias:

“Em meados de 2012, o Inovar-Auto foi a primeira iniciativa de eletrificação da frota de automóveis brasileiros através da tecnologia híbrida a etanol, o que seria uma enorme vantagem competitiva. Entretanto, o setor sucroalcooleiro foi contra essa inovação. Portanto, o lobby político é uma grande ameaça à EM”.

Tabela 15: Consenso e discordâncias entre os fatores

Nº	Statement	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7	Z-score Variância
5	Regulamentação/leis/normas são ainda insuficientes	0	1	0	1	0	-1	2	0,094
23	A eletromobilidade contribui para a saúde	1	0	1	1	3	2	1	0,148
14	Cidade/município oferece oportunidade aos pesados	1	-2	-2	0	-1	0	1	0,24
17	Modelos de negócio tem impulsionado a eletrificação no transporte publico	0	3	0	2	0	2	-1	0,261
27	Tempo de carregamento é alto (mudança cultural necessária)	-1	-1	0	0	-3	-1	-2	0,338
8	Industria automobilística como oportunidade	-1	1	-2	1	-1	-3	-2	0,407
15	Eficiência energética e mecânica associada ao conforto é uma oportunidade	2	1	-1	-3	0	1	-1	0,455
3	A preocupação com o meio ambiente é uma oportunidade	0	-1	1	2	2	1	4	0,462
22	Os pesados (ônibus e caminhões) são uma grande oportunidade	2	-1	2	1	1	-3	0	0,465
10	Desenvolvimento tecnológico como oportunidade	0	0	0	3	1	-2	0	0,503
26	Cadeia de minerais nacionais como oportunidade	-1	2	-4	0	1	-1	-1	0,59
11	Políticas governamentais não são claras e comprometem a eletrificação	3	-2	-2	-1	-1	0	0	0,614
12	Biocombustíveis são desafios a eletromobilidade	-3	1	2	-1	0	0	1	0,633
28	Levíssimos são uma oportunidade	0	2	-3	-1	0	0	1	0,652
19	A cultura de compartilhamento de veículos ajuda a eletromobilidade	3	0	1	-3	1	1	-2	0,671
24	A associação/cooperação da trílice hélice como desafio	2	0	1	-2	2	-1	-3	0,774
21	Eletromobilidade como desafio para a distribuição de energia elétrica	-4	-4	0	-4	-2	-2	-1	0,822
2	Cadeia Produtiva Nacional ameaçada	0	-3	-3	-1	-1	0	2	0,838
20	Mercado automobilístico como oportunidade	1	0	1	0	-3	-4	0	1,02
7	Baterias elétricas como desafio	-1	-2	2	3	-1	3	0	1,105
13	Matriz energética contribui para a eletromobilidade	4	3	-1	0	0	-1	1	1,12
9	Incentivos fiscais do governo necessários para impulsionar a eletromobilidade	1	0	3	-1	3	-2	0	1,159
25	Mobilidade urbana entendida como sistêmica	-3	1	-1	-2	4	1	3	1,249
18	Veículos a célula combustível são o futuro	1	-3	3	2	-2	0	2	1,262
Nº	Statement	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7	Z-score Variância

16	Capacitação/educação/treinamento exigira uma requalificação de profissionais no mercado	-2	4	-1	0	-2	1	3	1,437
1	O investimento (custo) em VE é um desafio	-2	-1	-1	4	2	2	-3	1,447
6	Infraestrutura de eletropostos é um desafio	-1	-1	0	1	1	4	-4	1,476
4	Hibridização como estágio inicial da eletromobilidade	-2	2	4	-2	-4	3	-1	1,648

4.11. Relação dos achados das duas metodologias

Utilizou-se duas metodologias – a metodologia Q e a GT - que foram mescladas neste trabalho de forma a melhor entender a EM no Brasil e validar seu entendimento. Assim, de forma a entender esta relação, estabeleceu-se a Tabela 16 em que consta a relação dos fatores e categorias achadas destas duas metodologias utilizadas, ou seja, a metodologia Q e a GT e que apresentam relações. Percebe-se uma evidente sobreposição de temas.

Assim, o fator 1 – Visão ampla a favor da EM - foi identificado com a categoria 2 – Ações governamentais da GT. Já o fator 2 de requalificação de recursos humanos foi identificado com cadeia produtiva da GT. O fator 3 de desenvolvimento de tecnologias de propulsão foi identificado com tecnologia. O fator 4 de custo dos VE foi identificado com categoria Custo. Não houve identificação do fator 5 de melhoria da mobilidade urbana com qualquer categoria da GT. O fator 6 de infraestrutura rotas técnicas para introduzir à EM foi identificada com a categoria de matriz energética e, por fim, o fator 7 de oportunidade ambiental para educação e mobilidade urbana foi identificada com a categoria meio ambiente da GT.

Tabela 16: Relação dos achados das duas metodologias utilizadas.

Metodologia Q (Fatores)	<i>Grounded Theory</i> (Categorias)
Fator 1 – Visão ampla a favor da EM	(2) Ações Governamentais
Fator 2 – Requalificação de Recursos Humanos	(4) Cadeia Produtiva
Fator 3 – Desenvolvimento de tecnologias de propulsão	(1) Tecnologia
Fator 4 – Custo dos VE	(6) Custo
Fator 5 – Melhoria da mobilidade urbana	
Fator 6 – Rotas técnicas para introduzir à EM	(3) Matriz Energética
Fator 7 – Oportunidade ambiental para educação e mobilidade urbana	(5) Meio Ambiente

A Tabela 16 faz uma comparação dos achados nas duas metodologias e procura achar semelhanças encontradas. Entretanto, não houve um isolamento na aplicação de cada metodologia e ao propor uma estratégia optou-se por seguir os sete fatores da metodologia Q em função de se utilizar uma análise estatística quantitativa.

4.11.1. Visão ampla a favor da EM

O fator 1, relacionado a uma "visão ampla a favor da EM", está alinhado com a declaração de maior concordância entre os respondentes: a insuficiência de regulamentação para o fortalecimento da EM no Brasil. A literatura aponta que transições bem-sucedidas exigem a superação de barreiras que vão além das questões tecnológicas e econômicas, abrangendo aspectos institucionais, infraestrutura e fatores sociais, considerados de grande relevância nesse contexto (BERKELEY *et al.*, 2017). As categorias da GT também corroboram a importância desse fator.

O fator 1 relacionado com as políticas governamentais está em sintonia com a declaração de maior concordância entre todos os respondentes que é a insuficiência de regulamentação para o fortalecimento da EM no Brasil. A literatura sugere que as transições bem-sucedidas requerem a superação de barreiras que vão muito além da tecnologia e dimensões econômicas, como uma gama de dimensões, como instituições, infraestrutura e sociedade, sendo vistas como muito significativas (BERKELEY *et al.*, 2017). As categorias da GT também confirmaram esse fator como relevante.

A Noruega se tornou um precursor global no campo da EM e a participação de mercado do BEV é muito maior do que em qualquer outro país. Uma razão provável para isso, segundo (BJERKAN; NØRBECH; NORDTØMME, 2016) são os fortes subsídios para promover a compra e propriedade de BEV. Eles sugerem que os governos elaborem esquemas de incentivos sobre os preços de compra dos VE, visto que as políticas de impostos e descontos na compra são mais eficazes para acelerar a adoção de tecnologias de baixo carbono. É necessário, assim, que o governo adote seu protagonismo no ecossistema da mobilidade elétrica.

A baixa regulamentação é considerada uma fragilidade para um mercado ainda de incertezas e de elevado risco para investidores e stakeholders. Some-se a isso que as estruturas contemporâneas de automobildade, parecem permanecer intactas, pois a cadeia automobilística tem tentado evitar inovações tecnológicas radicais dispendiosas e arriscadas, evitando um regime de ruptura. Segundo a análise de (DIJK; WELLS; KEMP, 2016) esse é o “efeito do navio à vela”, já observado anteriormente na indústria naval, de estratégias defensivas de empresas que consideram o novo cenário muito arriscado. Assim, os legisladores podem desempenhar um papel importante como nos requisitos de emissões e regulamentos de benefícios fiscais e não fiscais, que impulsionam a transformação do mercado.

No início de 2021, surgiram notícias sobre o fechamento de fábricas e a redução da capacidade produtiva de alguns fabricantes de automóveis. Embora essa crise local tenha sido fortemente influenciada pela pandemia de COVID-19, ela também pode ser interpretada como um indicativo de que o Brasil está ficando para trás na nova indústria automotiva, especialmente com a consolidação da transição energética. O país parecia isolado em termos de políticas ambientais e incentivos para futuras mudanças no setor, o que o colocava em desvantagem frente a países como México, Turquia e Hungria, que já estão investindo na produção de HEVs e BEVs (BNAMERICAS, 2021). No entanto, os VEs chineses estão ganhando espaço no Brasil, impulsionados por investimentos significativos no setor automobilístico. Em 2024, a China investiu US\$ 568 milhões, representando 33% dos investimentos chineses no Brasil. Marcas como BYD e GWM estão se estabelecendo no país, com a BYD investindo R\$ 5,5 bilhões na Bahia e a GWM destinando R\$ 10 bilhões até 2032 para sua fábrica em São Paulo. Além de expandir o mercado interno, essas empresas visam exportar para a América Latina, aproveitando o potencial do Brasil como um centro estratégico de produção de VEs, em consonância com o Programa de Mobilidade Verde e Inovação (MOVER) do governo (MAGNAVITA, 2024).

As conclusões de (SOVACOOOL *et al.*, 2019b) mostram que os VEs atualmente enfrentam um caso de negócios desfavorável, liderado pelo legado das indústrias de automóveis a gasolina e diesel e pelas condições do mercado nacional. Isso resulta em um modelo de negócios e cadeia de suprimentos inadequado que compromete a produção de VE e as ofertas de mercado. Além disso, para ampla difusão na sociedade, os VE mudarão a cadeia de vendas automotiva tradicional, afetando diretamente os métodos de venda (ou seja, concessionárias), fluxos de receita de manutenção (fornecedores) e estruturas de reabastecimento (recarga). Portanto, é essencial adotar novos modelos, práticas e métodos de negócios adequados para a difusão de VE.

Até recentemente, a estratégia do governo brasileiro no setor energético estava focada em programas como o RenovaBio, que buscava aprimorar políticas e regulações voltadas aos biocombustíveis, especialmente no setor sucroalcooleiro. No entanto, com o lançamento da nova política industrial *Nova Indústria Brasil* (NIB), o país passou a priorizar uma economia mais verde e sustentável, alinhada com compromissos globais de descarbonização (VELHO, 2024).

Nesse contexto, o presidente Luiz Inácio Lula da Silva sancionou a Lei nº 14.902 de 27 de junho de 2024¹⁷, a Medida Provisória que institui o Programa Nacional de Mobilidade Verde e Inovação (MOVER). Idealizado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), o Mover amplia as exigências de sustentabilidade da frota automotiva e promove o desenvolvimento de novas tecnologias de mobilidade e logística. A inovação central do programa está na criação do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) Verde, um sistema tributário progressivo que oferece incentivos fiscais para empresas que investirem em descarbonização, eficiência energética e reciclagem de componentes.

O Mover adota uma abordagem pioneira de medição das emissões de carbono "do poço à roda", abrangendo todo o ciclo de vida da energia utilizada nos veículos, desde a extração da matéria-prima até o consumo final. Essa métrica será ampliada para a metodologia "do berço ao túmulo" a partir de 2027, monitorando a pegada de carbono de cada etapa da produção, uso e descarte dos veículos. Segundo o vice-presidente e ministro Geraldo Alckmin, o programa é um marco na neointustrialização sustentável do Brasil e já atraiu R\$ 130 bilhões em novos investimentos, posicionando o país como líder em inovação automotiva sustentável na América Latina (BRASIL MDIC, 2024).

O avanço da eletrificação no setor automotivo e a crescente pressão por descarbonização tornam imperativo que o etanol e outros biocombustíveis sejam estrategicamente posicionados como parte de uma matriz energética diversificada e resiliente. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias avançadas, como o etanol de segunda geração (E2G) e a integração do biocombustível em modelos híbridos e elétricos, pode ampliar sua competitividade. No entanto, para que essas inovações se consolidem, é fundamental o alinhamento entre políticas setoriais, incentivos fiscais e financiamento à pesquisa e desenvolvimento, promovendo sinergias entre o setor público e privado para mitigar as vulnerabilidades inerentes ao mercado global de combustíveis.

Esta é uma estratégia definida pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia (MME) por meio de suas notas técnicas sobre biocombustíveis, que realça o potencial dos biocombustíveis no combate aos desafios socioambientais (EPE, 2017). Entretanto, a crise dos combustíveis causada pela guerra europeia entre Rússia e Ucrânia não motivou a substituição de um combustível por outro (gasolina por etanol). (MELO; SAMPAIO,

¹⁷ [L14902](#)

2014) já haviam observado que um choque na demanda de etanol hidratado, principalmente com o advento dos veículos *flexfuel*, não causou impactos significativos na dinâmica dos dois mercados de combustíveis (gasolina e etanol). Reforça-se a complexidade do mercado de combustíveis, que em épocas de crise não consegue servir de solução para a demanda do mercado.

Enquanto o Brasil foca em estratégias para os biocombustíveis, o governo dos EUA tem os MCIs (STEKELBERG; VANCE, 2024). Além disso, a intenção de compra aumenta quando os consumidores são informados sobre a mudança na política fiscal pelo governo em vez de pelo vendedor do veículo, consistente com os efeitos de credibilidade da fonte.

O Fator 1 aborda uma visão ampla a favor da eletromobilidade. Estudos como os de (BERKELEY *et al.*, 2017) mostram que a incerteza é uma das principais barreiras para a adoção de VEs, mas os brasileiros da amostra parecem ser mais tolerantes ao risco. Essa visão é compartilhada por todos os atores da amostra e pode influenciar as políticas governamentais quando há consenso de que as regulamentações, leis e normas no Brasil são insuficientes. A literatura apoia esse achado, destacando o papel crucial dos governos em fomentar o ecossistema de EM (CANSINO; SÁNCHEZ-BRAZA; SANZ-DÍAZ, 2018).

Além disso, a EM não apenas moderniza o setor de transporte, mas também sublinha a necessidade urgente de fontes limpas de energia e a descarbonização do transporte. Com sua matriz energética predominantemente renovável e uma crescente cultura de compartilhamento, o Brasil está bem-posicionado para liderar essa transição. Especialistas destacam que a expansão da EM aumentará a participação de fontes renováveis na matriz energética, criando um ciclo virtuoso onde a maior circulação de VEs impulsiona a demanda por eletricidade limpa, fomentando investimentos em energia solar, eólica e outras tecnologias sustentáveis.

(NTOMBELA; MUSASA; MOLOI, 2023) ressaltam que as redes elétricas do futuro incorporarão cada vez mais sistemas de geração de energia renovável distribuída (GD), fundamentais para redes elétricas inteligentes. Esses sistemas não só melhoram a confiabilidade da rede, mas também oferecem suporte como geradores de backup em caso de interrupções. A interação entre VEs e redes inteligentes (*smart grids*) apresenta tanto desafios quanto oportunidades, especialmente na infraestrutura elétrica, comunicação e controle. A tecnologia de veículo para rede (V2G) emerge como uma solução promissora, permitindo que VEs ajudem a estabilizar a rede ao gerenciar a variabilidade da geração de energia eólica e solar. Assim, a EM no Brasil, alinhada com o desenvolvimento das redes inteligentes, pode não só reduzir

emissões de carbono, mas também fortalecer a resiliência e sustentabilidade do sistema energético nacional.

A matriz energética brasileira é mais reconhecida por especialistas que podem influenciar os tomadores de decisão, enquanto a cultura de compartilhamento é uma tendência global impulsionada por gerações mais jovens, que promovem cada vez mais uma economia partilhada, que prioriza o acesso universal em detrimento da propriedade (ROBLEK; MEŠKO; PODBREGAR, 2021).

Esse enfoque promove a EM como uma alternativa ambientalmente amigável para enfrentar o aquecimento global e mitigar os impactos ambientais anteriores causados pelos humanos. Estratégias governamentais bem definidas, como exemplificado na China, têm impulsionado o país a se tornar um líder na transição elétrica no setor de transporte. Países emergentes com estruturas de energia limpa estabelecidas, como Peru e Brasil, possuem vantagens distintas na descarbonização de suas economias por meio da adoção da eletromobilidade. Nesse contexto, o governo desempenha um papel estratégico significativo, podendo acelerar ou dificultar a integração da EM em suas matrizes econômicas. Além disso, ao modernizar seus sistemas de transporte público, esses governos podem estimular novas oportunidades de negócios.

Pode-se colocar as declarações deste fator retirado da Tabela 12 em uma nova Tabela 17, diferenciando desafios e oportunidades e percebermos que há um número maior de oportunidades do que desafios. Onde os *statements* 5, 11 e 25 são colocados como desafios e os *statements* 9, 22, 28, 14, 17e 19, como oportunidades.

Tabela 17: Ações governamentais em desafios e oportunidades.

Desafios	Oportunidades
Regulamentação, leis e normas são ainda insuficientes (5) sendo um desafio estabelecer um marco regulatório	Incentivos fiscais do governo (9) são necessários nessa fase de transição.
Políticas governamentais não são claras (11) e comprometem a transição.	Os pesados (ônibus e caminhões) (22) são uma grande oportunidade.
Mobilidade urbana entendida como sistêmica (25) mas redesenhar cidades já estabelecidas é um desafio.	Levíssimos (EB, scooters etc.) são uma oportunidade (28).
	Cidades oferecem oportunidades aos pesados (14) sejam ônibus elétricos, trólebus ou veículos de frota.

Desafios	Oportunidades
	Modelos de negócio tem impulsionado a eletrificação no transporte público (17), alterando o modelo de concessões de ônibus, por exemplo.
	A cultura do compartilhamento (19) de veículos ajuda na transição.

4.11.2. Requalificação de recursos humanos e cadeia produtiva

A requalificação de recursos humanos (Fator 2) necessária em toda a cadeia de suprimentos, suporte (bombeiros, polícia rodoviária, mecânicos, motoristas etc.) e dos OEM foi endossada principalmente por representantes das empresas. A alta tensão dos circuitos elétricos e as baterias que, em caso de acidente, podem se incendiar são preocupações que exigem novos requisitos de segurança. É necessário aqui aprofundar a pesquisa de como aumentar a oferta de treinamentos e de pessoal capacitado, quando ainda a demanda por esses serviços é baixa em função de um mercado em crescimento. As universidades devem ainda rever os conteúdos programáticos para melhor preparar os futuros engenheiros e técnicos da EM.

Vimos que a cadeia produtiva automobilística é uma parte importante da economia brasileira e emprega diretamente 119.442 pessoas em junho de 2021 (ANFAVEA, 2021). (BERKELEY *et al.*, 2017) descrevem que há uma relutância nos fabricantes em mudar o suporte para o desenvolvimento para os VEs, pois os investimentos necessários para essa transição são arriscados sem o devido suporte governamental. Esta relutância é estendida a outros *stakeholders* como nas vendas de veículos novos (concessionárias), devido a necessidade menor de manutenção. No Brasil, a NIB tem impulsionado investimentos no setor automobilístico, com foco no desenvolvimento de VEs e no fortalecimento da competitividade frente aos novos entrantes chineses.

O Brasil tem capacidade para produzir entre 4,5 milhões a 4,7 milhões de veículos, já descontados números da Ford com o fechamento de suas fábricas. O maior volume produzido foi de 3,7 milhões em 2013, sendo que a produção de veículos para 2024, segundo a ANFAVEA, foi de 2,574 milhões de unidades (FOGAÇA, 2025). Ou seja, os produtores enfrentam uma ociosidade produtiva que é ampliada pela atual crise econômica e pela inflação alta. Isso retarda as opções de novos investimentos na transição energética e é de se esperar uma amortização maior dos capitais já investidos na produção dos modelos MCI. Neste cenário os fornecedores de 1º, 2º e 3º *tier* na cadeia de suprimentos tornam-se mais vulneráveis no caso

de mudanças rápidas à EM. Não integrar a cadeia global de valor no futuro pode ser uma ameaça à cadeia produtiva nacional.

Some-se que há uma indefinição do modelo de negócio que o VE irá perseguir, pois o compartilhamento (*carsharing*) está crescendo, bem como o aluguel de veículos. Assim, há uma possibilidade de alteração do modelo de negócio, principalmente para os veículos usados, que com baterias elétricas usadas podem perder muito valor de revenda. Com o aumento da venda de VE no futuro, é evidente que o mercado de VE usados também irá florescer, mas não sabemos se na mesma proporção que os MCI atualmente, que segundo (WANG, S.; YU, 2020) chegam a 70% na China. A idade média da frota circulante no Brasil atingiu 10 anos em 2020 (SINDIPEÇAS, 2021). Essa idade supera a garantia atual das baterias dos VE. Assim, a preocupação com a vida útil da bateria pode ser uma grande barreira para a aceitação de VE no mercado de segunda mão (PEDROSA; NOBRE, 2018).

O fator 2, associado principalmente aos respondentes do setor privado, identifica a necessidade de requalificação dos recursos humanos para a transição da indústria automobilística brasileira. Esse achado sugere que o setor privado está preocupado com a disponibilidade de trabalhadores qualificados necessários para essa transição. O crescimento econômico do país e a mudança para uma economia que apoia a EM exigem uma força de trabalho com qualificações mais elevadas. Alguns autores afirmam que ocorre um "apagão de mão-de-obra" no Brasil desde 2008, especialmente no setor de Tecnologia da Informação, revelando deficiências significativas nos sistemas de educação secundária e profissional (CEZARINO *et al.*, 2019; SANTOS, C. B. de F.; MARAVALHAS, 2017).

O futuro dos automóveis depende fortemente de linguagens de programação como SQL, Java, C++ e Python para desenvolver sistemas embarcados e ferramentas usadas em processos de validação (LIU, Yicheng *et al.*, 2021). Consequentemente, os talentos mais procurados e escassos são aqueles que combinam habilidades multidisciplinares de várias áreas e especialidades (RANGRAZ; PARETO, 2021).

Em Santiago, Chile, houve uma transição de ônibus tradicionais para ônibus elétricos como parte de uma eletrificação da frota (AAMODT; CORY; CONEY, 2021). Essa transição exigiu que os motoristas fossem treinados para operar e manusear eficazmente os veículos elétricos. O treinamento de motoristas é necessário em todos os países emergentes que enfrentam transições semelhantes para o transporte público elétrico (HIDALGO; KING, 2014).

A Tabela 18 qualifica em desafios e oportunidades o fator de requalificação de recursos humanos, onde se estabelece um número maior de desafios que oportunidades. Os *statements* 2, 8, 24 e 26 são colocados como desafios, enquanto os *statements* 10, 20 e 16, como oportunidades.

Tabela 18: Requalificação de recursos humanos em desafios e oportunidades.

Desafios	Oportunidades
Cadeia produtiva nacional ameaçada (2), pois a transição pode surpreender empresas (2° e 3° tier) não preparadas.	Desenvolvimento tecnológico (10) como oportunidade, pois há muitas possibilidades de desenvolvimento ainda não estabelecidas como baterias elétricas e carregadores.
Indústria automobilística (8) é um desafio pois o centro de decisão de suas matrizes não é local.	Mercado automobilístico (20) como oportunidade, pois o país ainda possui uma demanda por veículos e uma frota com mais de 15 anos de idade média.
A associação/cooperação da tríplice hélice (24) como desafio, pois os elos são desequilibrados.	Capacitação/educação/treinamento (16) exigirá uma requalificação de profissionais no mercado.
Cadeia de minerais nacionais (26) é um desafio, pois hoje faltam um suprimento regular que justifique investimentos.	

A educação como um fator inicial foi desqualificada por outro fator, o da cadeia produtiva, que se apresentou mais abrangente e importante. A requalificação da mão de obra é apenas um tema dentro da cadeia de suprimentos.

4.11.3. Desenvolvimento de tecnologias de propulsão

O fator 3 é identificado com o desenvolvimento de tecnologias de propulsão, necessário para se atingir, por exemplo, o preço-alvo de 125 US\$/kWh para baterias, definido pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE). Além disso, num futuro próximo, todos os veículos precisarão estar conectados entre si (comunicações V2V), e à infraestrutura (V2I), para diferentes fins (V2X), como direção autônoma, gerenciamento inteligente de tráfego, prevenção de acidentes, recursos multimídia etc. e, portanto, o uso de ambientes de simulação precisos e abrangentes será crucial para testar melhor novos protocolos e abordagens, antes de torná-los reais (SANGUESA *et al.*, 2021).

Tecnologias disruptivas como eletrificação, automação e conectividade (V2X) podem tornar o setor automotivo mais sustentável ao se esforçar para cumprir as metas dos Seis Zero: Zero Emissão, Zero Energia, Zero Congestionamento, Zero Acidente, Zero Vazio e Custo Zero. Essas metas tentadoras podem levar não apenas a uma ecologia mais sustentável, mas também

a uma nova economia com uso mais eficiente do tempo e do dinheiro necessários para a mobilidade (RIECK; MACHIELSE; VAN DUIN, 2020).

Algoritmos já encontram a melhor estação de carregamento (CS) com base nas preferências dos condutores de VE, como distância mínima de condução, custo mínimo de grid para veículo (G2V), receita máxima de veículo para grid (V2G) e tempo mínimo de espera na CS. Além disso, os motoristas de VE podem reagir de forma diferente a distâncias extras de direção necessárias para serviços G2V (V2G) mais baratos (mais caros) (BAGHERI TOOKANLOU; POURMOUSAVIKANI; MARZBAND, 2021). A incorporação desses algoritmos nas plataformas V2X auxiliará o motorista na melhor decisão de onde e quando abastecer.

(CANSINO; SÁNCHEZ-BRAZA; SANZ-DÍAZ, 2018) apontam para resoluções europeias, que sublinham que os VE representam avanços que requerem a integração de certas estratégias de inovação e desenvolvimentos tecnológicos por meio de financiamento adequado e promoção de P&D. Necessita-se aqui de uma atenção das autoridades brasileiras para o desenvolvimento dessas tecnologias visto a importância da indústria automobilística brasileira, sendo o 8º maior produtor mundial e o 6º maior mercado mundial (ANFAVEA, 2020; FOGAÇA, 2025).

O Brasil ainda possui uma particularidade, pois ainda não produz as BIL na cadeia de suprimentos para VE. Entretanto, o governo do estado de Minas Gerais pretende desenvolver o Colossus Cluster onde empresas localizadas em um parque industrial poderão vir a produzir baterias elétricas em Nova Lima na Região Metropolitana de Belo Horizonte (AGÊNCIA MINAS GERAIS, 2021). Estas poderão se aproveitar do perfil de mineração e da produção de Lítio, já promovida pelo Estado de Minas Gerais, como fornecedor de matéria-prima.

O Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística estabeleceu, desde o ano de 2020, incentivos fiscais, por meio da redução de impostos, para as despesas realizadas no país com pesquisa e desenvolvimento. Entretanto, estabeleceu também em seu Capítulo III, Lei nº 13.755/2018, o regime de peças não produzidas no país, onde a empresa importadora habilitada pode optar em depositar o valor que seria pago ao Imposto de Importação em um dos programas prioritários selecionados pelo Conselho Gestor do Programa (BRASIL, 2020). Dados de 2019 relatam que estes recursos superam os R\$ 200 milhões anuais e tem o objetivo de substituir importações (ROTA 2030, 2021).

Assim, houve a estruturação de seis programas prioritários de P&D: ferramentarias brasileiras mais competitivas; propulsão, biocombustíveis e segurança veicular; P&D e Engenharia para a cadeia produtiva do setor automotivo; financiamentos de inovação e pesquisa; alavancagem de alianças para o setor automotivo; e programa P&D para mobilidade e logística. Cinco instituições foram selecionadas para coordenar esses programas: Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (Fundep), Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) (FUNDEP, 2019). Entretanto, não há ainda avaliação dos resultados dos projetos financiados com estes recursos com o objetivo de se verificar os avanços tecnológicos obtidos, bem como a substituição das importações por produção nacional. Percebe-se a fragilidade de impulso da EM por este programa, que reforça a estratégia de manutenção dos veículos MCI.

Com base no raciocínio de que a inovação empresarial é essencial para capturar o valor de mercado das tecnologias emergentes de VE e que o governo deve ser responsabilizado por criar um contexto regulatório para apoiar tais inovações empresariais, o estudo de (FIGENBAUM, 2017; LI, Yanying, 2016) se concentram na inovação empresarial e na regulamentação governamental em relação a implantação de VEs na cidade de Shenzhen na China. Entretanto, é difícil extrapolar o modelo chinês no caso do Brasil onde as decisões e a estratégia política estão mais difusas. Entretanto, esta estratégia chinesa está possibilitando a entrada de suas empresas nas cadeias globais de valor do VE. O Brasil ao tardar sua estratégia dificulta a participação de empresas brasileiras nas plataformas globais de valor do VE.

As tecnologias que o país deveria estrategicamente desenvolver são: (1) tecnologias do *Powertrain* elétrico; (2) tecnologias de acumuladores de energia (baterias de alta e baixa tensão e células a combustível); (3) tecnologias de integração (V2X); e, (4) tecnologias de infraestrutura (BARASSA, 2019).

O fator 3 está intimamente ligado aos avanços tecnológicos nas tecnologias de propulsão de VEs, abrangendo hibridização, FCEVs e baterias elétricas. A literatura afirma que o sucesso dessas tecnologias ainda depende de avanços adicionais em pesquisa (GRÖGER; GASTEIGER; SUCHSLAND, 2015). Em 2024, os veículos plug-in, que englobam os PHEVs e os BEVs, superaram os HEVs convencionais em licenciamento no Brasil, marcando uma mudança significativa nas preferências dos consumidores. Os plug-ins alcançaram uma participação de 70% no mercado de veículos eletrificados, refletindo uma tendência de maior

aceitação e adoção de tecnologias de mobilidade mais limpas e eficientes (VARGAS *et al.*, 2020). Some-se que um estudo conclui que a hibridização melhora a economia de combustível e reduz o tempo de aceleração, aprimorando o desempenho geral (NASSIF; ALMEIDA, 2020).

Uma revisão destaca a contínua evolução da tecnologia de baterias elétricas, que possui o potencial para avanços disruptivos no campo. Isso apresenta uma oportunidade para o Brasil aproveitar sua proximidade com países vizinhos que são líderes mundiais em lítio, a base para o desenvolvimento de novos sistemas de armazenamento de energia (BRAGA; FRANÇA; JUNIOR, 2014; CANO *et al.*, 2018b). Além disso, o Brasil tem o potencial de se tornar um líder na produção de hidrogênio de baixo carbono, tomando crucial priorizar o desenvolvimento da tecnologia de células de combustível (CHANTRE *et al.*, 2022). O fator 3 sugere que a tecnologia de FCEV é fundamental para o futuro do Brasil na indústria de VEs.

O desenvolvimento de tecnologias de propulsão e, de forma mais ampla, o avanço tecnológico na área da EM no Brasil requer uma abordagem diferenciada em relação aos principais polos globais, como Europa, Estados Unidos, Japão e Coreia do Sul. Nessas regiões, a inovação é amplamente impulsionada pela indústria, com percentuais de patentes provenientes de empresas que frequentemente ultrapassam 70% em segmentos como Veículos Autônomos e Impressão 3D, segundo (BARBALHO; BURBA; MARTIN, 2018). Em contraste, a China apresenta um modelo alternativo, no qual as universidades desempenham papel central no desenvolvimento de tecnologias disruptivas, especialmente em áreas como Materiais Avançados e Armazenamento de Energia, com participação acadêmica que chega a 55% e 29%, respectivamente. Esse modelo chinês é mais adequado ao Brasil, que ainda não possui uma indústria automotiva consolidada e, portanto, necessita de uma base sólida de pesquisa fundamental e aplicada para desenvolver sua competitividade. Nesse contexto, as universidades brasileiras podem se tornar o motor principal da inovação, colaborando com o setor público e privado para criar um ecossistema de pesquisa que sustente o desenvolvimento de tecnologias críticas para a EM, reduzindo a dependência de tecnologias importadas e fomentando a formação de uma indústria nacional autônoma e inovadora.

Identificando os desafios e as oportunidades nesse fator, estabelece-se a Tabela 19 a seguir onde houve um empate no número de *statements* entre desafios e oportunidades. Considerou-se que os *statements* 7 e 27 estão identificados como desafios, enquanto os *statements* 18 e 4, como oportunidades.

Tabela 19: Desenvolvimento tecnológico em desafios e oportunidades.

Desafios	Oportunidades
Baterias elétricas (7) como desafio, pois o país não possui uma cadeia de suprimentos e é hoje importador na tecnologia íon-Lítio.	Veículos a célula combustível (18) são o futuro, pois o país pode produzir hidrogênio verde e converter o etanol.
Políticas governamentais não são claras (27) e comprometem a eletrificação sendo um desafio estratégico para liderança do ecossistema.	Hibridização como estágio inicial (4) da EM aproveitando o potencial de veículos à etanol.

4.11.4. Custos dos VEs

O alto custo dos VEs no Brasil (Fator 4) são um forte impeditivo a sua massificação, que possuem sua entrada no mercado principalmente nos veículos de maior preço. Este fator se encontra com a categoria de custos levantada pela GT.

O alto preço de compra é a barreira mais forte para a aquisição do VE, e estudos descobriram que os custos iniciais são mais enfatizados do que as reduções nos custos variáveis (BJERKAN; NØRBECH; NORDTØMME, 2016). Atualmente, a tecnologia híbrida é a mais seguida pelos usuários italianos, por exemplo, devido a fatores socioeconômicos como custo do investimento e autonomia (*range anxiety*) (ALA, G. *et al.*, 2020). Os custos altos estão relacionados com o custo da bateria, mas também aos investimentos necessários para disposição de uma ampla rede de carregadores rápidos (CILIO; BABACAN, 2021). Atualmente, as plataformas de VE importadas chegam ao Brasil com custos em dólares e, a partir de 2024, estão sujeitas a tarifas de importação, o que eleva o preço final desses veículos. No entanto, esse cenário começa a mudar com o aumento dos investimentos em fabricação local. Em 2023, o mercado de eletrificados no Brasil registrou um crescimento recorde, esse avanço é impulsionado por iniciativas como o Programa Mover, que prevê incentivos fiscais até 2028, e por novos projetos de grandes montadoras, como a instalação de fábricas locais pela BYD, GWM, GM, Stellantis, Toyota e Volkswagen, voltadas para a produção de veículos híbridos e 100% elétricos (CASARIN, 2024). As plataformas de VE estão sendo importadas, com valores em dólares e pagando as taxas de importação, que elevam os preços de compra dos VEs.

Há uma proximidade física com os países que possuem as maiores reservas de Lítio – Argentina, Chile e Bolívia – e cooperativamente poderíamos dispor da infraestrutura de refino e produção de matéria-prima para baterias elétricas. Aproximadamente 58% dos recursos mundiais de Lítio são encontrados nesses três países (BRIAN W. JASKULA, 2021). Entretanto,

as estratégias para o desenvolvimento destes países se afastam e os investimentos chineses começam a ser relevantes (BERG, 2021). As instalações de refino de Lítio e de montagem de baterias podem ajudar a impulsionar as indústrias em economias que dependem muito de commodities para obter receitas, colocando-as em risco de oscilações bruscas de preço. Mas as iniciativas públicas e privadas na Argentina, Bolívia, Brasil e Chile só devem avançar na produção de células de Lítio a partir de 2025 (LOMBRANA, 2019).

Assim, esta questão de custos elevados está atrelada ao desenvolvimento tecnológico, pois é necessário reduzir-se os preços das baterias para viabilizar os VE sem a necessidade de subvenção governamental que não consegue ser suportada por países em desenvolvimento por um longo período. O custo está relacionado a escala de produção, ainda reduzida, e a tecnologia, ainda nova com os novos entrantes (*new adopters*) (KÖNIG *et al.*, 2021; LEE, H.; CLARK, 2018).

No Brasil, segundo (VARGAS *et al.*, 2020), a adoção de BEVs ainda está em estágios iniciais, mas está ganhando impulso e perturbando o mercado. No entanto, para superar esse desafio, nossos resultados sugerem a exploração de soluções mais abrangentes e eficazes para reduzir os custos do ciclo de vida dos VEs, corroborando os resultados de (GRANGEIA *et al.*, 2023). Vários países estão oferecendo subsídios para reduzir o custo dos VEs à medida que a tecnologia continua a escalar na produção, levando a reduções de custo (SANTOS, G.; REMBALSKI, 2021). Os custos de aquisição são importantes para uma introdução mais ampla de VEs no Brasil, de acordo com (YAMAMURA *et al.*, 2022). Além disso, (LIU, Z. *et al.*, 2021) aponta que os custos operacionais (OPEX) dos VEs já são menores em comparação com os MCIs. Além disso, os preços de fontes de energia renovável, como vento e solar, estão diminuindo, aumentando ainda mais o potencial de penetração dos VEs, utilizando a redução de custos permitida por essas tecnologias (MACIEJOWSKA, 2020).

Identificando os desafios e as oportunidades nesse fator, estabelece-se à Tabela 20 a seguir onde há predominância de desafios, pois os statements 1 e 6 foram identificados como desafios.

Tabela 20: Custos dos veículos em desafios e oportunidades.

Desafios	Oportunidades
----------	---------------

O investimento (custo) em VE é um desafio (1), pois baterias importadas em dólar são muito caras e os incentivos são pequenos.	
Infraestrutura de eletropostos (6) é um desafio pelo tamanho do país e das distâncias em viagens a serem percorridas.	

4.11.5. Melhoria da mobilidade urbana entendida como sistêmica

A melhoria da mobilidade urbana entendida como sistêmica (Fator 5) é a necessidade de se repensar as questões de mobilidade, pois não se pode simplesmente trocar a forma de deslocamento (MCI por BEV) pois os problemas de trânsito e congestionamento continuarão. Este fator não revelou uma categoria pela GT.

Entram, assim, nesse questionamento a necessidade de soluções de compartilhamento e de última milha como as bicicletas elétricas (*e-bikes*) e patinetes (*scooters*) elétricas. A economia compartilhada prioriza o uso frente à posse, facilitando às pessoas o acesso a determinados bens sem que a pessoa tenha que investir em um recurso maior na sua aquisição (YANOCHA *et al.*, 2018).

Dentro do setor de transporte, a economia compartilhada está surgindo como uma solução para os problemas urbanos de congestionamento de tráfego e consumo excessivo. Essas medidas estão ganhando cada vez mais atenção e apoio, especialmente com o aumento da preocupação com as questões ambientais. O mercado global de compartilhamento de carros foi avaliado em US \$ 1,1 bilhão em 2015 e deve crescer para US \$ 6,5 bilhões até 2024 (JUNG; KOO, 2018). Para reduzir as emissões no setor de transporte por meio de serviços de compartilhamento de carros, é importante criar um ambiente no qual muito mais pessoas possam escolher os VE de compartilhamento, incluindo as *e-bikes*.

As *e-bikes* podem satisfazer bem as demandas atuais de viagens para mobilidade pessoal com as vantagens de preço acessível, economia de esforço, flexibilidade, alta acessibilidade e economia de tempo em congestionamentos de trânsito (LIN, X.; WELLS; SOVACOO, 2018). Elas são hoje consideradas uma alternativa sustentável ao transporte automotivo e são usadas principalmente para o deslocamento e podem contribuir para a redução da poluição do ar, congestionamento do tráfego, emissão de ruído e consumo de energia, permitindo ao mesmo tempo um estilo de vida mais saudável para os usuários (APOSTOLOU; REINDERS; GEURS, 2018).

Em um contexto de crise climática, ambiental e de saúde, propostas como “Cidade de ¼ hora” (*La ville du ¼ d’Heure*) lançam um questionamento aberto sobre como será a cidade do amanhã e este movimento lançado pela prefeitura de Paris (França) permitirá, sem dúvida, a muitos traçarem os contornos de cidades sustentáveis e desejáveis. Esta proposta é qualificada pelo tempo máximo de deslocamento que permite ao habitante o acesso aos serviços e atividades necessários ao seu bem-estar e ao seu dia a dia a partir de sua casa em 15 minutos (PARIS, 2020).

A mobilidade urbana deve ser vista como um sistema complexo e interconectado, dependente de incentivos fiscais e da sinergia entre os principais atores da EM. De maneira geral, o comportamento de viagem passa por mudanças globais significativas (CEDER, 2020). Consequentemente, o surgimento de novos modelos de negócios para o transporte público (POLYDOROPOULOU *et al.*, 2020) e a implementação de sistemas de concessão de transporte público limpo e de alta qualidade pelos municípios (SANTOS, J. B. Dos; LIMA, 2021) apresentam excelentes oportunidades para melhorar a qualidade do ar e a saúde pública (KUMAR; ALOK, 2020). No contexto de economias em rápido desenvolvimento, as cidades têm experimentado um crescimento substancial, o que exige uma reavaliação dos sistemas de transporte (GUTIÉRREZ; DE VICENTE OLIVA; ROMERO-ANIA, 2021).

Nossa pesquisa explora a integração do transporte público, sistemas de compartilhamento e soluções de última milha (BRUZZONE; CAVALLARO; NOCERA, 2021). Considerando que a mobilidade urbana envolve um conjunto abrangente de comportamentos e uma visão coletiva sobre as dinâmicas e soluções da cidade (ALBERTI; RADICCHI, 2022), é essencial adotar uma perspectiva holística do sistema de transporte. Nesse contexto, a EM surge como uma vantagem significativa, influenciando positivamente o deslocamento das pessoas para o trabalho, o retorno para casa, e o acesso a instalações próximas, como restaurantes, academias, serviços de saúde e estabelecimentos comerciais. Essas mudanças não apenas aliviam a congestão do tráfego, mas também melhoram a qualidade do ar e promovem estilos de vida mais saudáveis e ativos (CAMPISI *et al.*, 2021).

Curiosamente, questões como a micromobilidade não estavam altamente relacionadas a este fator, mas isso poderia estar mais relacionado à falta de discussão *mainstream* sobre a eletromobilidade, principalmente governada por uma cultura da indústria automotiva (SOVACOOOL *et al.*, 2019a). Nossa análise de dados sugeriu que a mobilidade urbana depende de um alinhamento entre acadêmicos, indústria e governo para se concretizar no futuro.

Identificando os desafios e as oportunidades nesse fator, estabelece-se à Tabela 21 a seguir onde destaca-se o desafio, pois o *statement* 25 foi identificado como um desafio.

Tabela 21: Mobilidade urbana entendida como sistêmica em desafios e oportunidades.

Desafios	Oportunidades
Mobilidade urbana entendida como sistêmica (25) mas redesenhar cidades já estabelecidas é um desafio.	

4.11.6. Rotas técnicas para introduzir à EM

A melhoria da rotas técnicas para introduzir à EM (Fator 6) é considerada de suma importância, principalmente para incentivar as pessoas a usar o BEV também para viagens de longa distância, fator considerado importante em um país de dimensões continentais como o Brasil. Aumentar o número de carregadores ao longo da rede de autoestradas e fornecer soluções de pagamento simples e compatíveis parece ser importante para evitar que os atuais usuários de BEVs voltem ao MCI, ao perceber que suas necessidades de mobilidade não podem ser atendidas satisfatoriamente por um VE, em particular quando é o único carro da casa (HAUSTEIN; JENSEN, 2018).

A quantidade de infraestrutura pública necessária depende do acesso que os motoristas têm aos postos de carregamento domésticos, com 83% a mais de capacidade de carga necessária para fornecer o mesmo nível de serviço a uma população de motoristas sem carregadores domésticos em comparação com um cenário com carregadores domésticos (SHEPPARD *et al.*, 2016).

A frota brasileira de VE ainda é pequena, em cerca de 1% e, apesar do crescente número de estações de carregamento (CS) a infraestrutura ainda é frágil. Segundo (HARRISON; THIEL, 2017) somente há impacto na absorção de VE quando a frota é superior a 5% e a densidade esteja acima de 25 PHEV/CS, ou seja, veículos *plug-in* por estação de carregamento, considerando o abastecimento prioritário ocorrendo em casa. Assim, a infraestrutura é um fator importante para o mercado de VE. Entretanto, ainda estamos aprendendo, pois há oportunidades de carga que são aproveitadas pelos motoristas de VE, que acabam por alterar essa densidade ideal. São comportamento que necessitam ainda serem melhor entendidos.

A categoria revelada pela GT foi a matriz elétrica, pois há o temor que se houver um carregamento simultâneo de VE em uma determinada zona isso acarretaria uma sobrecarga ao

sistema de distribuição elétrica. Assim, o tema está vinculado à infraestrutura de distribuição da rede elétrica.

Este elemento é acrescido ao fato que o Brasil registrou em 2021 a pior crise hidrológica em 91 anos em consequência do baixo volume de chuvas (FOLHA DE SP, 2021). Entre 2012 e 2015, o Brasil já tinha enfrentado uma redução drástica do volume de chuvas que levou à diminuição da geração hidrelétrica, depois compensada pela geração termelétrica, com aumento de suas emissões (LIMA, M. A. *et al.*, 2020).

Com efeito, o Sistema Nacional de Meteorologia (SNM), coordenado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), com a participação de todos os órgãos federais ligados à meteorologia e o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) emitiram em maio de 2021 um Alerta de Emergência Hídrica associado à escassez de precipitação para a região hidrográfica da Bacia do Paraná (INMET, 2021). É conhecido que a matriz elétrica brasileira é muito dependente da produção de energia nas usinas hidrelétricas. Isso causou o aumento do custo da energia em 2021, com a criação de uma taxa extra pela ANEEL (R\$14,20 por 100 kWh) devido a compensação com a geração termelétrica, e isso pode afetar a transição para a eletrificação automotiva.

Este é um problema que pode vir a ocorrer se não houver soluções de incentivos de carregamento com preços variáveis conforme o pico da demanda, conhecido como horário de ponta e maiores incentivos da geração distribuída. Assim, soluções estão sendo desenvolvidas como a associação com a produção local por painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas e, soluções de conectividade bidirecional como as veículo para a rede (V2G) (HUANG *et al.*, 2020; KOBASHI *et al.*, 2021). É necessário que o incentivo a investimentos contínuos na rede de distribuição elétrica, bem como a associação com a geração local por fonte renováveis como solar fotovoltaica, eólica ou hidrogênio verde.

A CPFL Energia encerrou em 2018 o projeto de P&D Aneel “Emotive”, que foi, até o momento, uma das mais completas avaliações dos impactos de mobilidade elétrica no Brasil. Ao longo de cinco anos, foi construído um estudo completo, baseado em “*living lab*”, experimentando na prática esta nova tecnologia para entender riscos e oportunidades para a distribuidora. Uma das principais conclusões desse projeto é que o setor elétrico

brasileiro está preparado para absorver o crescimento gradual da demanda por energia com a expansão do número de veículos elétricos em operação no país. Os testes realizados mostram que, considerando uma taxa de 5% de penetração de veículos elétricos na frota total, 80% das redes de distribuição não apresentaram nenhum dano ou problema (CPFL, 2018).

As rotas técnicas para introduzir a EM dependem de uma infraestrutura de recarga útil (BATAILLE *et al.*, 2020), desempenhando um papel crucial no crescimento do mercado de VEs ao abordar a "ansiedade da autonomia" dos consumidores (NOEL *et al.*, 2019) e facilitar a adoção generalizada. As estações de recarga de VEs são um componente chave dessa infraestrutura (AHMAD *et al.*, 2022). A expansão suave do mercado de VEs pode ser viabilizada pela implementação de tecnologias de veículo-para-rede (V2G) que gerenciam eficazmente a rede de distribuição elétrica e previnem sobrecargas (TIRUNAGARI; GU; MEEGAHAPOLA, 2022).

Particularmente, países emergentes continentais como Brasil, Rússia, Índia e China devem planejar estrategicamente a colocação de estações de recarga ao longo de suas principais rodovias (ER RAQABI; LI, 2023; LIN, B.; YANG, 2024). Ao distribuir essas estações estrategicamente, os VEs podem percorrer todo o território sem preocupações com a falta de abastecimento. Essa abordagem permitirá viagens de longa distância sem problemas para os proprietários de VEs e contribuirá para o sucesso geral do mercado de VEs. O Sistema Interligado Nacional Brasileiro, referindo-se a um conjunto de instalações e equipamentos que facilitam o fornecimento de eletricidade através de regiões interconectadas do país por meio de uma extensa rede (CAMPELLO *et al.*, 2023), pode apoiar essa estratégia.

Identificando os desafios e as oportunidades nesse fator, estabelece-se à Tabela 22 a seguir onde há um número maior de desafios frente às oportunidades. Os *statements* 13 e 21 foram identificados como desafios e o *statement* 15 como oportunidade.

Tabela 22: Infraestrutura e matriz energética em desafios e oportunidades.

Desafios	Oportunidades
Matriz energética limpa contribui (13) para a EM, mas a oferta desta energia é um desafio	Eficiência energética e mecânica associada ao conforto dos VE (15) é uma oportunidade
EM como desafio (21) para a distribuição de energia elétrica	

4.11.7. Oportunidade ambiental para educação e mobilidade urbana

A oportunidade ambiental para educação e mobilidade elétrica (Fator 7), coordenada com a categoria meio ambiente revelada pela GT, advém com a necessidade da profunda

descarbonização das atividades humanas para aumentar a probabilidade de se evitar aumentos da temperatura global de mais de 1,5 ou 2°C neste século. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) examinou os cenários de emissões que provavelmente manterão o aquecimento abaixo de 2°C no século XXI em relação aos níveis pré-industriais. Esses cenários são caracterizados por reduções globais antropogênicas de GEE de 40% a 70% em meados do século em comparação com 2010 (ALARFAJ; GRIFFIN; SAMARAS, 2020).

Segundo (KOTAK *et al.*, 2021), o conceito de reutilização (segunda vida) da bateria é promissor, pois, ao final da primeira vida, as baterias dos VE podem ser utilizadas em diversas aplicações, como armazenar energia gerada a partir de fontes renováveis para dar suporte à rede. No entanto, a análise de custo e ciclo de vida (LCA) demonstrou que existem vários aspectos envolvidos nas aplicações de reutilização de baterias. O potencial de aquecimento global (GWP) foi a primeira categoria que as avaliações do ciclo de vida (LCA) analisaram, observando que, para os primeiros VEs, a produção da bateria representou cerca de 40% do impacto ambiental total de um veículo, o que piorou a posição do VE de uma perspectiva ambiental em comparação a um MCI. No entanto, o GWP da fase de produção de VE com 64 kWh de capacidade de armazenamento de energia da bateria ainda é 25% maior em comparação com os veículos a diesel (KOTAK *et al.*, 2021).

O aumento anual previsto na produção de baterias de 10%, sem dúvida, reenergizará a química de reciclagem para recuperar metais cuja abundância é finita: a criação de química inteligente para permitir a reciclagem eficaz de materiais deve coexistir com o desenvolvimento de novos materiais. Existem contribuições significativas do setor de reciclagem de baterias de chumbo-ácido neste processo (GREY; TARASCON, 2016; RAJ *et al.*, 2020).

(SHEN *et al.*, 2023; WANG, L.; WELLS, 2020; WU; ZHANG, 2017) analisaram o impacto ambiental de VEs e MCIs usando o método "do poço à roda". Seus estudos compararam os efeitos dos VEs em países desenvolvidos e em desenvolvimento, além de Taiwan. Eles descobriram que os VEs reduzem significativamente as emissões de CO₂ em comparação com os MCIs. No entanto, o impacto da poluição do ar por SO₂, PM₁₀ ou NO_x varia dependendo da estrutura da matriz elétrica e da taxa de perda na linha de transmissão.

No fator 7 um dos objetivos é diminuir significativamente as emissões de CO₂ no setor. Cada país deve reforçar seus potenciais específicos (BOUDRI *et al.*, 2002; CACERES *et al.*, 2021); por exemplo, no Brasil, é recomendada a promoção do uso mais amplo de etanol no

setor de transportes (FLÓREZ-ORREGO; SILVA; OLIVEIRA, 2015). A pandemia de COVID-19, devido à redução do estresse no transporte urbano, implicou na diminuição da poluição e na melhoria da qualidade do ar, incentivando mudanças na sensibilidade ambiental (ARRIBAS-IBAR; NYLUND; BREM, 2021).

Nas últimas décadas, o crescimento econômico de países emergentes resultou em níveis elevados de poluição em suas cidades, impactando a população em geral e gerando lentamente uma cultura social voltada para a conscientização ambiental (ZHU, L. *et al.*, 2019). Esse comportamento é capturado pelo fator 7, que, em nosso escopo de pesquisa, significa que o fator ambiental, juntamente com o potencial para uma transição energética no setor de transportes, apresenta uma oportunidade para a descarbonização e redução de emissões de GEE em áreas metropolitanas.

Há um debate em curso sobre se os biocombustíveis representam desafios ou oportunidades para a EM. Contrariamente à crença de que os biocombustíveis dificultam o progresso dos VEs, evidências sugerem que eles podem servir como uma fonte de combustível valiosa para carros híbridos. Segundo um estudo (COSTA, E. *et al.*, 2020), os VEs e os veículos movidos a etanol devem ser vistos como tecnologias complementares, e não como concorrentes.

A difusão dos VEs necessitaria de investimentos locais substanciais da indústria automotiva, o que poderia criar um dilema entre investir em veículos a etanol (apoiados pelo governo) ou em VEs (com relativamente menos apoio governamental), considerando os riscos associados a qualquer nova tecnologia (COSTA, Evaldo *et al.*, 2020; MIELNIK; SERIGATI; GINER, 2017). Consequentemente, há uma tendência da indústria automobilística brasileira em adiar sua decisão sobre investimentos em VEs até que esses veículos ganhem mais tração no mercado internacional.

Identificando os desafios e as oportunidades nesse fator, estabelece-se à Tabela 23 a seguir onde há um número maior de oportunidades, pois o *statement* 12 foi identificado como desafio e, os *statements* 3 e 23 como oportunidades.

Tabela 23: Meio ambiente em desafios e oportunidades.

Desafios	Oportunidades
Biocombustíveis são desafios à EM (12) perpetuam o uso de motores à combustão.	A preocupação com o meio ambiente (3) é uma oportunidade, pois os atores políticos querem cumprir uma agenda “verde”.
	(23) A EM contribui para a saúde com a redução de GEE e particulados.

--	--

4.11.8. Reflexão sobre a sobreposição dos fatores encontrados

A categorização proposta não deixa de evidenciar que há evidente entrelaçamento dos fatores. Por exemplo, o desenvolvimento tecnológico não está distanciado da discussão de custos, como viu-se. As políticas governamentais não devem ser afastadas da infraestrutura ou da mobilidade urbana entendida como sistêmica. Entretanto, são esses os fatores descobertos por meio da metodologia Q, por meio das opiniões dos respondentes que se utilizou de uma ferramenta estatística e quantitativa para separar esses sete fatores.

Após a descrição desses sete fatores estabelecemos recomendações de uma estratégia nacional de EM.

5. RECOMENDAÇÕES DE UMA ESTRATÉGIA NACIONAL DA EM

Este capítulo se concentra na análise de percepções, atitudes e opiniões relacionadas às oportunidades e desafios associados à EM no Brasil. O estudo utilizou a metodologia Q e o software KADE para analisar quantitativamente as opiniões dos entrevistados e identificar sete fatores distintos que, coletivamente, responderam por 52% da variação observada nos dados. Uma análise qualitativa foi realizada utilizando-se a metodologia da *Grouded Theory* conforme estabelecido na Figura 7. Esses fatores foram apoiados por uma extensa revisão da literatura existente.

5.1. Fator 1: Visão ampla a favor da EM

O principal fator que influencia as políticas governamentais e gera consenso entre os entrevistados é o reconhecimento de que os regulamentos, leis e normas no Brasil são insuficientes. A literatura destaca o papel crucial dos governos na promoção do ecossistema EM, como visto em estratégias bem-sucedidas implementadas em países como a China. Os países emergentes com estruturas de energia limpa estabelecidas, incluindo Peru e Brasil, podem alavancar a influência estratégica de seus governos para acelerar a adoção de EM e estimular o crescimento econômico por meio da modernização do transporte público.

5.2. Fator 2: Requalificação dos Recursos Humanos

O fator 2 está associado aos entrevistados do setor privado, refletindo sua preocupação com a disponibilidade de trabalhadores qualificados necessários para a transição da EM. O crescimento econômico do Brasil e a transição para um mercado emergente exigem maior qualificação da força de trabalho. Esta preocupação é reforçada pelas deficiências do passado nos sistemas de ensino secundário e profissional, evidenciadas pelo “apagão laboral” em 2008/2009. Habilidades multidisciplinares de vários domínios e especialidades, incluindo linguagens de programação, estão em alta demanda para o futuro da indústria automotiva.

5.3. Fator 3: Desenvolvimento de tecnologias de propulsão

O Fator 3 abrange os aspectos tecnológicos dos VEs, incluindo hibridização, FCEVs e tecnologias de bateria elétrica. Os consumidores brasileiros mostram uma preferência crescente por veículos híbridos devido à sua maior economia de combustível e desempenho geral. A proximidade do Brasil com os líderes da mineração de lítio apresenta uma oportunidade para o desenvolvimento de novos sistemas de armazenamento de energia. Além disso, o Brasil tem potencial para se tornar líder na produção de hidrogênio verde, enfatizando a necessidade de priorizar a tecnologia de células de combustível para o futuro da indústria de VEs.

5.4. Fator 4: Custo do VE

O custo dos VEs, incluindo o desenvolvimento da bateria, é um desafio global. No Brasil, a adoção de BEVs está ganhando força, mas requer a exploração de soluções mais abrangentes e eficazes. As reduções de custo são esperadas à medida que a tecnologia de VE aumenta na produção e os subsídios fornecidos por vários países contribuem ainda mais para reduzir os custos de VE. Além disso, os custos operacionais dos VEs já são mais baixos em comparação com os MCIs, e os preços decrescentes das fontes de energia renováveis aumentam o potencial de penetração dos VEs.

5.5. Fator 5: Melhoria da Mobilidade Urbana Sistêmica

A mobilidade urbana deve ser vista como um sistema complexo e interconectado, representando o fator 5. O comportamento das viagens está passando por mudanças significativas, e novos modelos de negócios e sistemas de transporte público limpos apresentam oportunidades para melhorar a qualidade do ar e a saúde pública. Os países em desenvolvimento que experimentam um crescimento substancial precisam reavaliar seus sistemas de transporte, integrando o transporte público, compartilhando sistemas e soluções de última milha. A adoção de uma transição energética nesses países pode mitigar as emissões de gases de efeito estufa e melhorar o bem-estar dos cidadãos.

5.6. Fator 6: Rotas técnicas para introduzir à EM

As rotas técnicas para introduzir à EM desempenham um papel crucial no crescimento do mercado de VEs, abordando a ansiedade de alcance e facilitando a adoção generalizada. As estações de carregamento de veículos elétricos, incluindo tecnologias de veículo para rede (V2G), são componentes-chave dessa infraestrutura. A colocação estratégica de estações de carregamento ao longo das principais rodovias em países continentais como o Brasil pode garantir viagens de longa distância perfeitas para proprietários de veículos elétricos e contribuir para o sucesso geral do mercado de veículos elétricos.

5.7. Fator 7: Oportunidade ambiental para educação e mobilidade urbana

O Fator 7 centra-se na redução significativa das emissões de CO₂ no setor dos transportes. A promoção da utilização do etanol na mistura de combustíveis apresenta uma abordagem recomendada no Brasil. A pandemia do COVID-19 destacou os resultados positivos da redução da poluição e melhoria da qualidade do ar, indicando que o ecossistema de EM pode se beneficiar ao encorajar mudanças de comportamento. O fator ambiental, aliado ao potencial de transição energética no setor de transportes, oferece oportunidades de descarbonização e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Em conclusão, este capítulo de discussão, destaca os vários fatores que influenciam a adoção da eletromobilidade no Brasil. Ele enfatiza o papel crítico das políticas governamentais

em lidar com as insuficiências, a necessidade de requalificar a força de trabalho, os avanços tecnológicos nos VEs, o custo dos VEs, a mobilidade urbana sistêmica, o desenvolvimento da infraestrutura e os benefícios ambientais da descarbonização. Ao abordar esses fatores, o Brasil pode acelerar a adoção da EM, estimular o crescimento econômico e contribuir para um setor de transporte sustentável e de baixo carbono.

6. DISCUSSÕES

Em geral, a eletrificação dos veículos induz vantagens adicionais. A digitalização e a conectividade aumentam os benefícios da eletrificação (COOPER *et al.*, 2019). VEs são muito mais eficientes, silenciosos e confortáveis do que MCIs (HELMERS; MARX, 2012). A EM reduz os custos de saúde pública ao diminuir a poluição ambiental e sonora (BOUDET, 2019).

Pesquisas sobre a intenção de compra na China (HU *et al.*, 2023) identificaram que incentivos financeiros e características ambientais não impactam significativamente a compra de VEs, mas privilégios nas estradas sim. (XUE *et al.*, 2023) afirma que o valor psicossocial e a posse familiar de VEs influenciam a eficácia das políticas governamentais para estimular a compra de VEs. Pesquisadores indianos também destacam o comportamento do consumidor. (DEKA *et al.*, 2023) inferiu que o comportamento de manada e as normas pessoais em relação ao meio ambiente mediam a intenção de compra. Ao mesmo tempo, (SRIVASTAVA; GAUTAM; SHARMA, 2023) descobriram que normas subjetivas ambientais estão diretamente associadas às intenções de aluguel e até a disposição de pagar preços premium. Essas discussões apontam para efeitos de estímulo (SANCHES; BARBALHO; MARTIN, 2021) que devem ser considerados nas políticas para a introdução de VEs.

Tendências tecnológicas e sociais estão conectadas à eletrificação, ou seja, veículos movidos a células de combustível oferecem opções promissoras de EM (GRÖGER; GASTEIGER; SUCHSLAND, 2015). Os jovens priorizam a mobilidade em detrimento da posse de veículos, e os VEs promovem o aumento do compartilhamento de veículos, reduzindo o uso de veículos (CURTALE; LIAO; VAN DER WAERDEN, 2021). Pesquisadores encontraram normas subjetivas e pessoais ambientais como elementos importantes na tomada de decisão de novas gerações para a compra de VEs (DEKA *et al.*, 2023; SRIVASTAVA; GAUTAM; SHARMA, 2023; XUE *et al.*, 2023). As tendências globais, incluindo a EM, devem ser analisadas através da mobilidade urbana (PARIS, 2020), onde as principais instalações da cidade devem estar próximas das pessoas. Veículos leves (bicicletas, motocicletas e scooters) oferecem uma oportunidade econômica para a EM (BEHRENDT, 2016).

O Estado brasileiro deve desenvolver uma estratégia de longo prazo para a EM no setor de transportes para reduzir os riscos das decisões de investimento e aumentar a difusão do mercado de VE. A redução dos riscos no planejamento futuro deve levar a uma aceleração da difusão de VE no mercado e a intensificação das atividades de P&D (WOLF; KORZYNIETZ, 2019). Devido à potencial perda de mercados de exportação e à exclusão da engenharia

automotiva brasileira das redes de desenvolvimento de produtos comandadas pelos centros internacionais de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P, D & I), o país pode sofrer com a inércia em se posicionar nessa rota eletrificada (BARASSA *et al.*, 2022).

A motivação como vimos, deve ser o meio ambiente de forma a reduzirmos as emissões dos GEE e a poluição aérea nos grandes centros metropolitanos. Essa redução das emissões nos ajudará a atingir as metas estabelecidas pelo governo brasileiro no Acordo de Paris. Acrescente-se ao fato, que a transição energética, por meio da EM, ajuda também a política econômica dessa “nova economia”, mais sustentável, por meio da geração de riqueza e, de novos e melhores empregos. Os principais impulsionadores para a promoção da EM incluem: a necessidade de descarbonizar os sistemas de transporte terrestre e cumprir os compromissos ambientais, particularmente as Contribuições Nacionalmente Determinadas para redução dos GEE; a importância da energia limpa e infraestrutura elétrica da região; e a existência de recursos minerais, como o lítio, níquel e o cobre, essenciais à produção de diversos componentes para veículos elétricos.

Este documento, a Estratégia Nacional para a EM, estabelecerá um planejamento das ações que devem ser implementadas de forma a servir de guia para os diversos atores do ecossistema da mobilidade urbana e do setor de Transportes. Diversos exemplos de países latino-americanos já lançaram documentos similares que orientam a política econômica e social.

Como exemplos regionais de países que estabeleceram sua Estratégia Nacional, podemos citar:

a) Chile: O governo lançou em 2017 uma Estratégia Nacional de Eletromobilidade, que descreve as ações que o Chile deve realizar a curto e médio prazo para que 40% dos veículos particulares e 100% dos veículos de transporte público sejam elétricos até 2050, contribuindo assim para as metas de eficiência energética e mitigação do efeito estufa, ajudando a melhorar mobilidade e qualidade de vida (CHILE, 2017).

b) Costa Rica: O governo estabeleceu seu Plano Nacional de Transporte Elétrico 2018 a 2030 (Lei nº 9.518/2018) pois o desenvolvimento do transporte elétrico responde às políticas energéticas contidas no seu VII Plano Nacional de Energia (PNE), ao compromisso do país de avançar para a descarbonização da economia estabelecido no Plano de Ação da Estratégia Nacional de Mudanças

Climáticas (ENCC) e na Contribuição Nacionalmente Determinada da Costa Rica (NDC) no Acordo de Paris (COSTA RICA, 2019).

c) Colômbia: O governo também estabeleceu sua Estratégia Nacional de Mobilidade Elétrica em 2019, que segundo o documento, há grandes desafios associados a esta transição elétrica: i) regulatório e político, ii) econômico e de mercado, iii) técnico e tecnológico, e iv) infraestrutura e ordenamento do território. Esses desafios são úteis para sugerir fluxos de trabalho de curto, médio e longo prazo para a estratégia e para desenvolver um plano de ação estruturado para orientar essa transição (COLOMBIA, 2019).

d) Panamá: Em junho de 2019, a Secretaria Nacional de Energia (SNE) e o Ministério do Meio Ambiente deste país, apresentaram a Estratégia Nacional de Mobilidade Elétrica, uma iniciativa para promover o transporte de baixa emissão e contribuir para o cumprimento dos compromissos climáticos do Panamá no Acordo de Paris. A estratégia propõe medidas em quatro áreas fundamentais - governança, regulamentação, setores estratégicos e educação -, bem como a criação de um marco legal que desestimule o uso de veículos movidos a combustíveis fósseis e estimule a introdução de veículos elétricos no mercado para uso privado e público transporte (seletivo ou massivo) (PANAMA, 2019).

e) Equador: Este também estabeleceu sua Estratégia Nacional de Eletromobilidade, pois a eletromobilidade apresenta-se como uma oportunidade interessante para descarbonizar o setor dos transportes, limitar as emissões de outros poluentes, reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e aumentar a eficiência do setor dos transportes (ECUADOR, 2021).

f) República Dominicana: Como parte de seus esforços para reduzir as emissões de GEE e sua dependência de importações de combustíveis fósseis, foi publicado o Plano Estratégico Nacional de Mobilidade Elétrica em 2020. Este plano visa apoiar a massificação de veículos movidos a energia renovável. O estabelecimento de metas para a adoção gradual de VEs nas frotas públicas e privadas é outra iniciativa apoiada por este plano que incentiva a construção de infraestruturas de carregamento de VEs a nível urbano e interurbano. Para cada um dos eixos temáticos do Plano foram especificadas linhas de ação, ações estratégicas e responsáveis por sua execução (STOPFER *et al.*, 2021).

Percebe-se que alguns países já têm uma estratégia nacional de mobilidade elétrica e também possuem uma lei específica de incentivos à EM, a qual se constitui como um marco regulatório que garante que os estímulos monetários e não monetários sejam implementados como uma política de Estado e não se modifique na medida em que mudam os governos (BARASSA *et al.*, 2022).

Apesar da existência de iniciativas no Congresso Nacional, incluindo a Frente Parlamentar Mista em Defesa da Eletromobilidade Brasileira (MATOS *et al.*, 2018), ainda é essencial um posicionamento mais estratégico e integrado do governo federal na liderança do ecossistema de transição para a eletrificação automotiva. Embora o Programa Mover (Mobilidade Verde e Inovação) tenha sido lançado pelo MDIC para modernizar a mobilidade e incentivar a produção local de veículos sustentáveis, falta uma governança¹⁸ mais ampla que envolva não apenas órgãos do Poder Executivo, mas também representantes do setor privado e das universidades. Essa colaboração é fundamental para garantir o avanço coordenado das políticas de eletrificação, otimizar a alocação dos recursos previstos em créditos financeiros até 2028 e alinhar o país com as melhores práticas internacionais de descarbonização e inovação tecnológica.

Apesar de existirem iniciativas de projetos junto ao Congresso Nacional e, inclusive, uma Frente Parlamentar Mista em Defesa da Eletromobilidade Brasileira (MATOS *et al.*, 2018; SENADO FEDERAL, 2022) é necessário um claro posicionamento do governo federal na liderança deste ecossistema de transição para a eletrificação automotiva. Uma governança ampla com órgãos do Poder Executivo e com a participação de representantes de entidades do setor privado e das universidades não foi proposto e se faz necessária para a evolução de ações no tema.

A Resolução do Senado Federal nº2, de 23 de março de 2022, instituiu assim, a Frente Parlamentar pela Eletromobilidade, com a finalidade de promover debates e iniciativas a respeito de políticas públicas e outras medidas que estimulem a eletromobilidade no Brasil. Isso reduzirá os eventuais riscos da transição para o setor privado e poderá reduzir os investimentos

¹⁸ (CAVALCANTE; PIRES, 2018) apresentam a governança como um conceito que transcende o modelo burocrático tradicional, enfocando a articulação entre atores estatais e não estatais para lidar com a complexidade dos desafios contemporâneos, enquanto (MEULEMAN, 2021) argumenta que a governança pública deve ser modernizada para atuar como alavanca estratégica para transições sustentáveis, com a adoção de práticas como governança e a integração de abordagens culturalmente sensíveis e colaborativas para a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Essas perspectivas convergem na valorização de arranjos institucionais adaptativos e na necessidade de coordenação multissetorial para aumentar a eficácia das políticas públicas.

estatais necessários. O Brasil, ainda que tardiamente, poderá assumir uma liderança regional no Cone Sul devido à pujança de seu parque industrial (VELLOSO, 2010). Agora, o novo Congresso, que assumiu a 57ª legislatura em 2023, deverá formar uma nova frente parlamentar para dar suporte a essa iniciativa.

Lançado em 22 de setembro de 2022, um documento assinado por 145 organizações da sociedade civil, movimentos sociais e pesquisadores, propõe a criação de um Sistema Único de Mobilidade (SUM) como forma de melhorar a qualidade do transporte público brasileiro. Este manifesto pretende colaborar com sugestões e incentivar o governo federal a criar um marco regulatório para o transporte público coletivo no país (IDEC, 2022). É necessária a formação de uma governança que possa unificar os esforços dos governos federal, estadual, municipal e distrital para uma mobilidade que tenha equidade, universalidade, acessibilidade, integralidade e sustentabilidade, princípios destacados pelo manifesto.

Assim, esta tese faz uma resenha de uma Estratégia Nacional para a EM estruturada nos sete eixos estratégicos fruto do trabalho de pesquisa dos fatores advindos da Metodologia Q. Estes Eixos Estratégicos desenvolvidos se apresentam desdobrados em Linhas de Ação, pois se reconhece a necessidade de um conjunto de ações especificamente voltadas para a implementação da estratégia de eletromobilidade. Esta Estratégia se materializa em um framework para superar desafios e explorar oportunidades, que teve como foco o caso brasileiro, mas pode ser extrapolado para outros países igualmente emergentes como México e Argentina.

O sucesso dos VE, no entanto, é um desafio sociotécnico, onde as atitudes dos motoristas e o desempenho devem ser considerados simultaneamente (SAFARI, 2018; STEINHILBER; WELLS; THANKAPPAN, 2013; TRAN *et al.*, 2012). A transição já se iniciou e apesar de um quadro de baixa penetração dos VE é necessário assegurar uma estratégia nacional para garantirmos as melhores condições de competitividade de nossa indústria nacional. Assim, a partir de cada eixo estratégico (enumerados), iremos descrever uma série de ações necessárias (alíneas) com o objetivo de estabelecer a base do que poderia ser uma Estratégia Nacional para a Eletromobilidade.

A Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) é instrumento da política de desenvolvimento urbano de que tratam o inciso XX do art. 21 e o art. 182 da Constituição Federal, objetivando a integração entre os diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas no território do Município e é definido na Lei

nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Entretanto, como visto no manifesto pela criação de um SUM, percebe-se que a PNMU deve ser aperfeiçoada e ainda está longe de resolver esse problema complexo que é a mobilidade urbana.

Fundamentada na PNMU, a Estratégia Nacional para a EM deverá definir, de forma clara e objetiva, as estratégias que deverão nortear a sociedade brasileira nas ações para a mobilidade elétrica. Trata das bases sobre as quais deve estar estruturada a mobilidade elétrica, assim como indica as articulações que deverão ser conduzidas, no âmbito de todas as instâncias municipal, estadual e federal e a interação entre os diversos escalões condutores dessas ações com os segmentos não governamentais do país. Assim, este framework orienta os agentes quanto às medidas que devem ser implementadas para que esses objetivos sejam alcançados. O setor privado, como um dos agentes da base deste framework conforme Figura 12, pode inovar e investir em tecnologia e infraestrutura de VE, como tecnologia de baterias, desenvolvimento do *powertrain*¹⁹ elétrico, estações de carregamento e fabricação do VE. Esse também podem colaborar com o governo e a academia para promover a pesquisa e o desenvolvimento. Junto com a academia deve promover interação para o desenvolvimento desses itens e tomar parte no financiamento.

A academia pode realizar pesquisas sobre eletromobilidade e áreas relacionadas, como tecnologia de baterias, *powertrain*, eletrônica de potência e energia sustentável. Ela também pode formar e capacitar estudantes e profissionais nessas áreas para prepará-los para carreiras em EM.

Aqui é importante citarmos o Terceiro Setor²⁰, especialmente representado por organizações não governamentais (ONGs) e entidades de cooperação internacional, como a GIZ (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*), desempenha um papel estratégico na promoção da sustentabilidade e na transição energética. No Brasil, a GIZ tem atuado por décadas em projetos que fortalecem áreas como a eficiência energética, fundamentais para a redução de emissões e o avanço da inovação tecnológica. Essas organizações destacam-se por sua capacidade de alinhar esforços globais e locais, oferecendo expertise técnica, mobilização social e uma abordagem integrada para os desafios ambientais. (TODOROVA; KOSTADINOVA, 2024) reforçam essa visão ao demonstrar como ONGs líderes em inovação

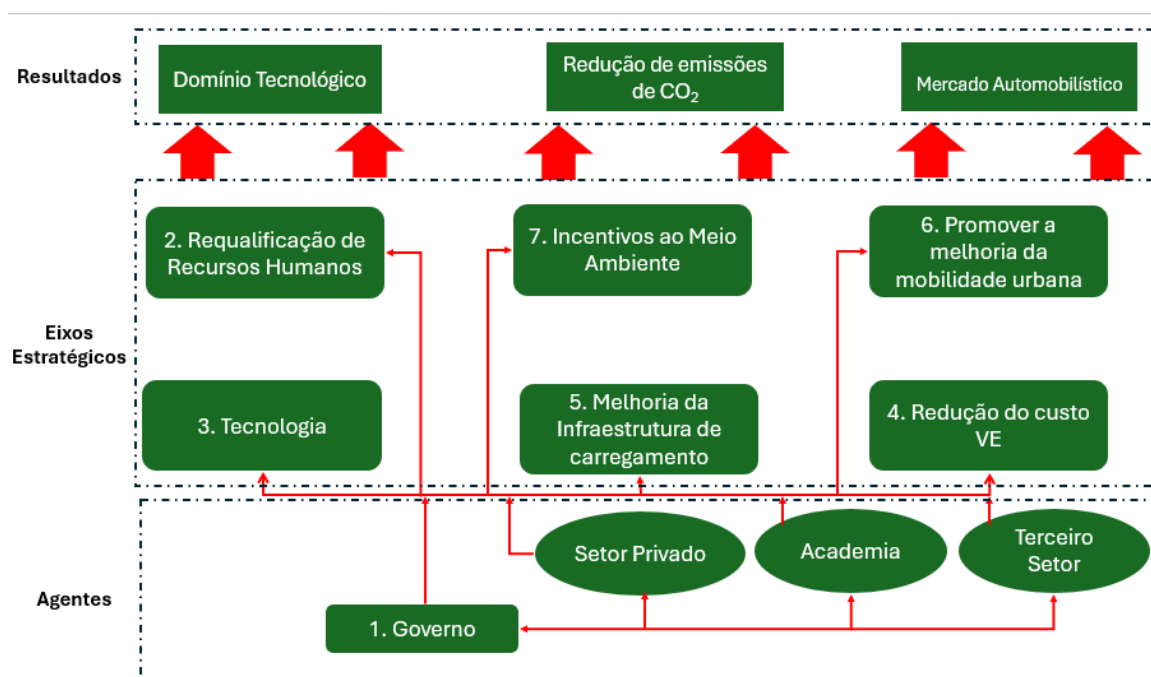
¹⁹ É o grupo de componentes que fornecem energia mecânica do motor principal para os componentes acionados.

²⁰ O Terceiro Setor é composto por ONGs, fundações, instituições e organizações da sociedade civil. De forma geral, uma organização de terceiro setor busca gerar mudanças e benefícios no âmbito socioambiental, além de, necessariamente, não pertencerem ao setor público (governo) ou ao setor privado (empresas).

e eficiência energética exercem funções essenciais, como a coleta, análise e disseminação de informações, o suporte ao desenvolvimento de políticas públicas e o monitoramento de compromissos ambientais. Tais iniciativas promovem a modernização ecológica, a justiça climática e a inclusão de múltiplos atores no processo de desenvolvimento sustentável. Ao articular soluções locais com cooperação internacional, as ONGs fortalecem a governança ambiental e consolidam-se como parceiras indispensáveis na transição para economias verdes e no avanço da independência energética.

No geral, o governo, o setor privado, e a academia e o Terceiro Setor podem trabalhar juntos para avançar na pesquisa e desenvolvimento de veículos elétricos e infraestrutura de carregamento, promover a conscientização pública e a adoção de veículos elétricos e contribuir para um futuro mais sustentável.

Figura 12: Framework para superar desafios e explorar oportunidades.



Fonte: o próprio autor.

6.1. O Governo como agente promotor da mudança

A EM é uma questão complexa que requer a colaboração e a cooperação de vários setores, incluindo governo, setor privado e academia. Aqui estão algumas maneiras pelas quais esses setores podem interagir para trabalhar em direção à EM:

6.1.1. Regulamentação ou normatização

Os regulamentos desempenham um papel crítico na promoção da adoção de VEs e no desenvolvimento da infraestrutura necessária para apoiá-los. Por exemplo, os regulamentos podem exigir que as montadoras atendam a certos padrões de eficiência de emissões ou produzam uma porcentagem mínima de VE ou PHEV. Esses regulamentos podem incentivar as montadoras a investirem no desenvolvimento de veículos elétricos mais eficientes e acessíveis.

Os regulamentos também podem exigir a instalação de infraestrutura de carregamento, como estações de carregamento de VE, em espaços públicos e edifícios privados. Isso pode ajudar a resolver o problema da ansiedade de alcance dos usuários.

Além disso, os regulamentos podem fornecer incentivos aos consumidores para comprar VEs, como créditos fiscais, abatimentos ou subsídios. Isso pode ajudar a tornar os VEs mais acessíveis e incentivar mais pessoas a mudar para VEs.

Assim, os regulamentos podem desempenhar um papel crucial na aceleração da transição para a EM e na redução das emissões de GEE do setor de transporte.

A função normativa é uma das funções do Estado e tem por objetivo de esclarecer e regular a aplicação legal. Por exemplo, no Brasil já há cobrança dos serviços de recarga para VE, que ocorre por tempo ou por carga (kWh). A primeira Resolução Normativa nº 819/2018 estabeleceu que o serviço de recarga é uma atividade competitiva, dissociada e distinta da atividade que é a comercialização, o fornecimento ou a distribuição de energia elétrica, não fazendo sentido definir tarifas para esse serviço, mesmo quando este é prestado pela concessionária de distribuição (BARASSA, 2019). Entretanto, essa norma foi revogada com a aprovação da nova Resolução Normativa nº 1.000/2021 (BRASIL/ANEEL, 2021), que consolida os direitos e deveres dos consumidores de energia elétrica e estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. A Agência optou, assim, por uma regulamentação mínima do tema, com o objetivo principal de evitar interferências indesejáveis na operação da rede elétrica e garantir que as tarifas dos consumidores de energia elétrica das distribuidoras não sejam impactadas pela prestação do serviço de recarga de veículos elétricos, quando realizado por essas distribuidoras. Assim, é permitida a qualquer interessado a realização de atividades de recarga de veículos elétricos, inclusive para fins de exploração comercial com preços livremente negociados, a chamada recarga pública.

Assim, ainda paira uma indefinição se é um serviço e deve pagar os tributos municipais como o Imposto sobre Serviços (ISS) ou, se é a revenda de um produto, energia elétrica, e deve

recolher os tributos estaduais como o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Fica evidente a falta de liderança do governo federal e, da agência reguladora, em definir as lacunas normativas que causam a estagnação dos investimentos.

Entre alguns dos aspectos a serem trabalhados na regulação e normatização incluem: a interoperabilidade entre os veículos e a infraestrutura de recarga; a adoção de padrões ou regulamentos exclusivos para veículos elétricos; a adoção de normas para carregamento e comunicações de veículos elétricos; a definição de padrões mínimos de eficiência energética e de emissões; o padrão de estruturação de projetos de concessão no transporte coletivo por ônibus (BRASIL MDR, 2021); entre outras. São aspectos regulatórios que envolvem atores nas esferas federal, estadual e municipal, mas necessitam de uma coordenação nacional, ou seja, uma governança.

A regulamentação deve ocorrer também na implantação da infraestrutura dos carregadores de VE, pois na sua falta há exigências diferentes entre as diversas concessionárias e permissionárias de energia elétrica, dificultando, assim, a iniciativa privada que deve atender diversas exigências. A negociação de uma demanda energética contratada por essas distribuidoras de energia também deveria ser facilitada para facilitar essa implantação da infraestrutura.

Além disso, a incorporação dos veículos elétricos traz consigo a necessidade de regular seu uso para melhor integrá-los aos sistemas de transporte do país. Uma das ações de regulação é restringir as emissões de veículos à combustão na mesma velocidade que a legislação europeia (UE), de forma que se reduza a poluição do ar local por meio da difusão acelerada de VE no mercado para minimizar os riscos à saúde causados por partículas e dióxido de nitrogênio, melhorando a insuficiência regulatória da transição.

As regras da próxima fase da legislação de redução de emissões de poluentes de veículos comerciais pesados a diesel, o Proconve P8, é equivalente à norma europeia Euro 6. A Resolução nº 490 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), publicada em 21 de novembro de 2018, estabelece novas reduções da poluição veicular oriundas da queima de diesel, causada por agentes como material particulado, óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos e monóxido de carbono (CO).

Todos os veículos comerciais pesados vendidos no país deverão atender aos limites de emissões definidos pelo P8 a partir de janeiro de 2023, mas os novos projetos de caminhões ou ônibus

têm obrigação de seguir a legislação um ano antes, em janeiro de 2022 (CONAMA, 2018).

Percebe-se que há um atraso na regulamentação de emissões veiculares, concedendo um benefício à indústria automobilística que pode se desfazer de seus estoques de veículos que já não atendem a legislação dos países europeus.

É importante também o estabelecimento de normas municipais que venham a reduzir os prazos de renovação das frotas de ônibus a diesel e o aumento desses prazos de renovação para os ônibus elétricos, permitindo que os investimentos maiores possam ser diluídos em um prazo maior. Estes novos ônibus elétricos, de piso baixo, devem vir acoplados de comodidades de conexão, como rede Wi-Fi, e o conforto de ar-condicionado, que são diferenciais que melhoram a adoção desses meios.

Uma das sugestões das entrevistas ocorridas no processo de validação, foi de se pensar a questão dos créditos de carbono como os gerados no programa californiano “*Low Carbon Fuel Standard*” (LCFS). Este foi projetado para diminuir a intensidade de carbono do “*pool*” de combustíveis de transporte da Califórnia e fornecer uma gama crescente de alternativas renováveis e de baixo carbono, que reduzem a dependência do petróleo e obtêm benefícios de qualidade do ar. Os padrões LCFS são expressos em termos de “intensidade de carbono” (IC) da gasolina e do óleo diesel e seus respectivos substitutos. Os combustíveis de baixo carbono abaixo do “*benchmark*” geram créditos, enquanto os combustíveis acima do “*benchmark*” IC geram déficits. Os créditos e déficits são expressos em toneladas métricas de emissões de GEE. Os fornecedores de combustíveis para transporte devem demonstrar que a mistura de combustíveis que fornecem para uso na Califórnia atende aos padrões de intensidade de carbono LCFS, ou “*benchmarks*”, para cada período de conformidade anual (CA GOV, 2022). Novos padrões de “*benchmark*” podem ser estabelecidos por esses créditos reduzindo-se ao final as emissões de GEE.

O país já conta com o mercado de Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis (CBIO), que é emitido por usinas (produtoras ou importadoras de biocombustíveis certificadas pela ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis e negociado em bolsa (ANBIMA, 2020). Cada título corresponde a uma tonelada de CO₂ que deixa de ir para a atmosfera pela substituição do combustível fóssil pelo biocombustível. Essa experiência poderia ajudar a financiar os investimentos necessários na infraestrutura de carregamento de VE.

Deve-se estabelecer critérios para o atendimento de solicitações de ligação nova ou alteração de carga de unidades consumidoras que contenham ou desejem instalar estações de recarga de VE, bem como o cadastro das estações junto a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com o objetivo que as sobrecargas na demanda não afetem a qualidade dos serviços da distribuidora. Isso já está ocorrendo a nível municipal, como na alteração da Lei nº 16.642 da cidade de São Paulo, onde novos condomínios residenciais e comerciais são obrigados a disponibilizar tomadas de recarga para carros elétricos e híbridos nas garagens, com medição independente de consumo.

Os veículos com motores à combustão interna já apresentam uma série de requisitos técnicos de construção e segurança. Entretanto, existe uma necessidade de se regular a conversão de MCI para VE, ou mesmo, de VE pequenos, como os veículos de 48 V, de forma que novos fabricantes possam entrar e estimular o mercado, oferecendo produtos seguros e que seus produtos possam trafegar nas rodovias brasileiras. Esta barreira técnica é um limiar que pode barrar a entrada de novos entrantes no mercado de VE. Os ônibus já em operação poderiam sofrer um *retrofit*²¹ para serem convertidos em VE.

6.1.2. Incentivos fiscais (taxas e preços)

Vimos que um aumento na transição para VE depende de políticas governamentais que oferecem incentivos e benefícios lucrativos. Entretanto, recomenda-se que os incentivos fiscais sejam voltados ao transporte coletivo e não, individual. O governo pode fornecer financiamento para P&D de VEs e sua infraestrutura relacionada. Este também pode definir regulamentos e incentivos para incentivar o uso de VEs, como créditos fiscais para compradores de VEs, taxas e preços para energia elétrica de carregamento, estabelecer prazos para adoção de VEs no transporte público e promover subsídios para estações de recarga de VEs.

Aguarda-se a criação de incentivos para a gestão de energia em conformidade com a infraestrutura de carregamento de veículos e o melhor uso de eletricidade de energias renováveis, utilizando-se de tecnologias de V2X que podem equilibrar a rede de distribuição sem sobrecarregá-la. Controlar o cronograma de recarga de veículos elétricos de forma coordenada fornece uma solução potencial para mitigar os problemas e pode adiar o reforço da infraestrutura de rede (SUN; NEUMANN; HARRISON, 2020). O incentivo ao desenvolvimento de aplicativos que venham exercer essa função, ajuda ao consumidor a

²¹ É a substituição do motor e caixa de marchas de um automóvel ou ônibus com mecânica convencional por um motor elétrico.

localizar os carregadores, bem como saber se ele está ocupado. Também ajuda o integrador na definição da cobrança: por tempo ou por carga (kwh).

Destaca-se ainda os incentivos por meio da regulação de preços dinâmicos de eletricidade e uma possível redução de impostos e taxas para horários “fora da ponta”. Portanto, é necessária uma reforma dos impostos e taxas sobre o consumo de energia. Essas ações podem minimizar os custos de transação e tornar lucrativo o gerenciamento do lado da demanda das infraestruturas de carregamento acelerando sua implementação. As distribuidoras e permissionárias de energia poderiam fazer programas de fidelidade com os usuários de VE, permitindo a compra e venda de energia nos horários estabelecidos e dinamizando o mercado.

As políticas precisam reduzir o custo de compra dos VE (ou aumentar o custo dos veículos convencionais) para garantir melhor paridade. Essa redução ocorre pela escala de produção ou pela tecnologia, como já vimos. Sugere-se estimular o uso obrigatório de VE em táxis e outras frotas de caminhões leves de *delivery* em grandes centros urbanos (SOVACOO, B.K. *et al.*, 2019b).

6.1.3. Prioridade de tráfego com a definição de regras de convivência viária

Os VE competem pelo uso do espaço viário e geram externalidades relacionadas a congestionamentos e acidentes como os convencionais veículos com os MCI. Portanto, é necessário não apenas se responsabilizar pelo uso dessas novas tecnologias, mas também regular sua convivência com outros modos de transporte, especialmente com ciclistas e pedestres. Aumentar a segurança nos deslocamentos ajuda na EM.

Nesse sentido, é necessário regulamentar esta convivência viária por meio de uma série de dispositivos que visam alcançar uma eficiência entre os diferentes modos de transporte, abordando aspectos relacionados à circulação de ciclistas, novas tecnologias de propulsão, limites de velocidade urbana, educação do motorista e normas de infraestrutura, entre outros. A prioridade, como vimos, deve ser dada ao transporte público.

6.1.4. Definição de uma governança

Segundo (CAVALCANTE; PIRES, 2018), a governança no contexto das organizações públicas é essencial para enfrentar a complexidade crescente dos problemas e demandas sociais, exigindo integração e articulação entre diversos atores, incluindo setores privados e não estatais. Essa perspectiva reforça a importância de arranjos institucionais formais e informais que promovam capacidades estatais eficientes e colaborativas. No caso da EM, apoiar a governança

promovida pela PNME e alinhar iniciativas planejadas com stakeholders são passos fundamentais para estruturar ações integradas e eficazes. Apoiar a governança ofertada pela PNME e dar seguimento as suas iniciativas ajudam a estabelecer uma relação com atores que já estão realizando um trabalho de estruturação de ações em torno da EM.

(MARTÍNEZ-DÍAZ; SORIGUERA; PÉREZ, 2018) utilizaram o tráfego rodoviário como linha de argumentação para demonstrar que a introdução aleatória de tecnologia não traz benefícios para a sociedade. Em particular, foi analisado por que alguns dos benefícios potenciais do progresso tecnológico são perdidos em áreas como monitoramento de tráfego, tratamento de dados e gestão de tráfego, ou em iniciativas de mobilidade sustentável, como a introdução de VE ou a implementação de projetos de compartilhamento de veículos. Assim, isso reforça o fato de que ações planejadas de implementação com os diversos *stakeholders* são necessárias e o estabelecimento de uma governança é necessária.

Sem uma liderança estabelecida e reconhecida por todos os *stakeholders*, a implementação de políticas públicas pode enfrentar retrocessos, privilegiando interesses locais ou regionais, como demonstrado nos casos do IPVA em Minas Gerais e São Paulo. Em Minas Gerais, a legislação isenta VEs e HEVs fabricados no estado, enquanto mantém a alíquota de IPVA para modelos produzidos fora de seu território, favorecendo a produção local, como a recente fabricação de híbridos *flex* pela Stellantis.

Já em São Paulo, a Assembleia Legislativa aprovou a isenção de IPVA para veículos híbridos *flex* e movidos a hidrogênio entre 2025 e 2026, mas excluiu os modelos BEVs, gerando críticas pela falta de isonomia e alinhamento com os objetivos de eficiência energética e saúde pública (ALESP, 2024). Assim, a ausência de coordenação centralizada e integradora pode fragmentar esforços, impedindo o avanço uniforme e sustentável da EM no Brasil. Nesse contexto, a atuação articulada do governo em suas diferentes esferas, como por meio de compras públicas e incorporação de veículos elétricos em frotas oficiais, é fundamental para criar massa crítica, estimular o desenvolvimento de serviços associados e promover um efeito demonstrativo, desde que acompanhada de políticas equitativas e alinhadas nacionalmente. A atuação do governo em suas esferas municipal, estadual e federal, pode atuar do lado da demanda, ou seja, das compras governamentais incentivando o uso do transporte com VE. Por exemplo, a incorporação de VE na frota pública, ou o seu uso, ajuda a gerar uma massa crítica que permite o desenvolvimento de serviços, bem como gera um efeito de demonstração.

(BOTIN MORAES *et al.*, 2021) apontam que o cenário político brasileiro relacionado à mobilidade elétrica apresenta um predomínio de políticas de *demand pull*, em detrimento de *technology push*. Conforme (NEMET, 2009) apud (BOTIN MORAES *et al.*, 2021), ambos os tipos de políticas precisam coexistir e se complementar para criar um ambiente propício à inovação tecnológica, equilibrando o estímulo à demanda com a promoção de investimentos tecnológicos. No entanto, o Brasil ainda carece de uma governança federal que coordene essas políticas de maneira sinérgica. Essa coordenação seria essencial para alinhar os incentivos às demandas com estratégias que estimulem o desenvolvimento tecnológico, avançando em metas de descarbonização e eficiência urbana, além de contribuir para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), como saúde e bem-estar (3), energia limpa e acessível (7), cidades sustentáveis (11) e ação climática (13).

A ausência de um plano nacional estruturado contribui para a fragmentação das ações, que são majoritariamente lideradas por governos municipais de acordo com suas prioridades locais, gerando insegurança jurídica e dificultando a uniformidade das iniciativas. Dada a pressão crescente de grupos ambientalistas, das mudanças climáticas e das transformações no mercado automotivo global, metas ambiciosas e uma estratégia nacional coordenada são urgentes.

Espera-se que, pela capilaridade de atuação do governo federal, este assumira uma posição de liderança por meio de uma governança estruturada, capaz de enviar um sinal claro para a indústria, investidores e consumidores sobre o compromisso do Brasil com a mobilidade elétrica, fomentando um ambiente estável e atrativo para o desenvolvimento de novas tecnologias de propulsão veicular e a consolidação de um mercado sustentável.

6.1.5. Subsídio em investimento

O crédito em investimentos do setor privado é importante na transição para a EM. Esta envolve a produção e o uso de VEs, que exigem investimentos significativos em fabricação, pesquisa e desenvolvimento e infraestrutura de carregamento. O setor privado desempenha um papel crucial na realização desses investimentos, e muitas vezes é necessário crédito para financiá-los.

Os investimentos do setor privado em EM podem vir de várias fontes, incluindo capitalistas de risco, empresas de *private equity*, bancos de desenvolvimento e outras instituições financeiras. Esses investidores precisam ter acesso ao crédito para financiar seus investimentos, seja por meio de empréstimos ou outras formas de financiamento por dívida.

Além disso, a disponibilidade de crédito pode ajudar a estimular a demanda por VEs, tornando-os mais acessíveis aos consumidores. Muitos consumidores podem não conseguir arcar com os custos iniciais mais altos dos VEs em comparação com os MCI tradicionais. No entanto, com acesso ao crédito, podem parcelar o custo do veículo no tempo, tornando-o mais acessível a uma gama maior de consumidores.

Por fim, o crédito em investimentos do setor privado é importante na transição para a EM, pois pode ajudar a facilitar os investimentos necessários para impulsionar o crescimento do mercado de VEs e torná-lo mais acessível aos consumidores.

6.1.6. Quadro de Ações para Promoção da Mobilidade Elétrica (EM)

Tabela 24: Regulamentação ou Normatização

Ação	Possíveis Atores Responsáveis ²²	Prazo	Estimativa de Custos ²³
Definir normas nacionais para infraestrutura de recarga, interoperabilidade, e padrões técnicos de VEs.	ANEEL, Ministério de Minas e Energia (MME), ABNT	12-24 meses	R\$ 5-10 milhões (estudos e consultas públicas)
Regulamentar incentivos para conversão de veículos a combustão em VEs.	Ministério da Indústria e Comércio (MDIC), Conama, Ministério dos Transportes (MT) (Secretaria Nacional de Trânsito)	6-12 meses	R\$ 1-2 milhões
Estabelecer regras para <i>retrofit</i> de ônibus para operação elétrica.	Ministérios do Meio Ambiente (MMA) e MDIC	18-24 meses	R\$ 3-5 milhões

²² Os possíveis atores responsáveis podem se alterar conforme as responsabilidades estabelecidas pelos governos e seu marco legal.

²³ As estimativas de custos apresentadas foram elaboradas com base na experiência prévia da equipe de pesquisa e devem ser consideradas como indicativas. Recomenda-se a realização de levantamentos detalhados e validações adicionais para garantir maior precisão e adequação às condições específicas do projeto. Os valores estão referenciados com o dólar em R\$5,3914 do IPEADATA.

Desenvolver regulamentação para integração de VEs com a rede elétrica (V2X).	ANEEL, distribuidoras de energia	24 meses	R\$ 10-15 milhões
--	----------------------------------	----------	-------------------

Tabela 25: Incentivos Fiscais (Taxas e Preços)

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Implementar créditos fiscais para empresas que investem em infraestrutura de recarga.	Receita Federal, Ministério da Fazenda (MF), MDIC, Secretarias Estaduais	12 meses	Redução fiscal estimada de R\$ 500 milhões/ano
Reduzir impostos sobre eletricidade para horários fora de ponta para recarga de VEs.	ANEEL, Secretarias Estaduais, MME	18 meses	R\$ 200-300 milhões/ano
Criar subsídios diretos para aquisição de ônibus elétricos por municípios.	BNDES, Ministérios da Fazenda e das Cidades	24 meses	R\$ 2 bilhões/ano

Tabela 26: Desenvolvimento da Infraestrutura

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Implantar infraestrutura de carregadores rápidos em rodovias principais.	MDIC, MT, ANEEL, concessionárias de rodovias, setor privado	36 meses	R\$ 5 bilhões
Estabelecer programas de fidelidade para usuários de VEs em parceria com distribuidoras.	Distribuidoras de energia, associações de consumidores	12 meses	R\$ 50 milhões

Desenvolver aplicativo nacional para localização e gerenciamento de carregadores.	Startups, MDIC, universidades, Ministério dos Transportes	18 meses	R\$ 20 milhões
---	---	----------	----------------

Tabela 27: Governança e Coordenação

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Criar um Comitê Nacional de Mobilidade Elétrica para coordenar ações regulatórias e fiscais.	Casa Civil, MDIC, MME, MMA	6 meses	R\$ 10 milhões/ano (administração)
Promover workshops e consultas públicas com atores do setor privado, academia e governo.	MDIC, universidades, Confederação Nacional da Indústria (CNI), associações industriais	12 meses	R\$ 5 milhões

Tabela 28: Comunicação e Educação

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Campanha nacional de conscientização sobre benefícios da mobilidade elétrica.	Secretaria de Comunicação Social (SECOM), Casa Civil, MDIC	18 meses	R\$ 50 milhões
Programas de capacitação para técnicos em manutenção e operação de VEs.	SENAI, universidades, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) MDIC	24 meses	R\$ 30 milhões

6.2. Requalificação dos Recursos Humanos.

6.2.1. Capacitação técnica

VE apresenta grande disrupção na cadeia automotiva já estabelecida, requerendo novas competências e componentes, tendo como elemento crucial a bateria e suas tecnologias

(BARASSA *et al.*, 2022). Deve-se incentivar a requalificação dos recursos humanos por meio da capacitação, educação e treinamento de estudantes e profissionais do mercado facilitando a prestação de serviços e as oportunidades da transição. Há uma série de profissionais a serem requalificados que vão desde as revendas de VE, bombeiros, policiais, mecânicos, operários da indústria, motoristas de ônibus etc. Para a sua correta incorporação nas frotas públicas e privadas, é necessário que o país disponha de capital humano em quantidade suficiente e devidamente formado para enfrentar os desafios que irão surgir. Prestar serviços de manutenção em VE requer outras capacidades e procedimentos de segurança que não são necessários nos MCI, como, por exemplo, o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) apropriados para o trabalho com alta tensão.

Há oportunidades no Projeto Profissionais do Futuro - Competências para a Economia Verde, que é uma iniciativa executada no âmbito da Cooperação Técnica Brasil - Alemanha “Educação Profissional para Desenvolvimento Econômico Verde e Empregos”, iniciativa que integra o Acordo Básico de Cooperação Técnica entre ambos os países (BRASIL, 2022). O objetivo é aumentar as perspectivas de emprego dos egressos de educação profissional em setores de sustentabilidade da economia brasileira. Tais setores contemplam a educação profissional e tecnológica, bioeconomia e energia, além de outras atividades produtivas sustentáveis relacionadas à economia circular e à digitalização, enquanto tema transversal. Vislumbra-se aqui, a inclusão de profissionais que venham a se capacitar na reciclagem ou segundo uso de baterias elétricas. Há necessidade de se capacitar também os condutores de VE, principalmente motoristas de ônibus, necessidade essa que já ocorre em outros países como o Chile.

6.2.2. Processo de educação do consumidor

Embora os benefícios dos VEs sejam numerosos, muitos consumidores ainda não estão familiarizados com a tecnologia e podem ter equívocos ou mal-entendidos sobre como os VEs funcionam e suas capacidades. A educação do consumidor pode ajudar a resolver esses problemas e garantir que os compradores em potencial tenham informações precisas sobre os VEs, o que, por sua vez, pode aumentar a adoção da tecnologia. Aqui estão algumas das principais razões pelas quais a educação do consumidor de VEs é importante:

- Os VEs têm características diferentes em comparação com os MCIs tradicionais, como tempos de carregamento, autonomia e manutenção. Os consumidores precisam entender como essas diferenças podem afetar sua experiência de mobilidade e estilo de vida.

- Os VEs ainda são relativamente novos no mercado e pode haver equívocos ou mitos em torno deles. A educação do consumidor pode ajudar a dissipar esses mitos e fornecer informações precisas.
- Muitos consumidores podem não estar cientes dos benefícios financeiros e ambientais de possuir um VE. A educação do consumidor pode ajudá-lo a entender esses benefícios, o que pode tornar os VEs uma opção mais atraente.
- Pode haver preocupações sobre a segurança dos VEs, como o risco de eletrocussão ou incêndio. A educação do consumidor pode ajudar a aliviar essas preocupações e fornecer informações sobre os recursos de segurança dos VEs.

O processo de educação do consumidor deve ser incentivado para que ele perceba que a ansiedade de alcance (*range anxiety*) pode ser gerida na maioria dos casos de necessidade de mobilidade com o uso de VE. Os aplicativos, embarcados ou não, devem facilitar aqui a vida desse consumidor minimizando possíveis panes por falta de energia da bateria. Deve-se promover mais demonstrações e *test drives*, pois a experiência com um VE está relacionada a preferências de adoção mais altas.

Tabela 29: Capacitação Técnica

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Requalificação de mecânicos e operários para trabalhar com VEs (foco em manutenção, segurança e procedimentos de alta tensão)	Ministério da Educação (MEC), Ministério do Trabalho (MT), SEBRAE, SENAI, Instituições de Ensino Técnico (IFs), Empresas do setor automotivo (1° Tier, ex: fabricantes de baterias)	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 10 milhões Programas de capacitação e cursos especializados em VEs
Capacitação de motoristas de ônibus elétricos	Empresas de transporte público, Ministério dos Transportes, Concessionárias de	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 5 milhões Treinamento e simulação de uso de VEs

	transporte, Sindicatos de motoristas		
Implementação de programa de reciclagem e segundo uso de baterias elétricas	MMA, MCTI, Empresas de reciclagem, Instituições de pesquisa e ensino	Longo prazo (3-5 anos)	R\$ 15 milhões - Infraestrutura de reciclagem e cursos de capacitação
Participação no Projeto Profissionais do Futuro - Competências para a Economia Verde	Governo Federal (MDIC, MEC), Instituições educacionais brasileiras e alemãs, empresas do setor de energia verde e sustentabilidade	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 20 milhões - Custos de cooperação técnica e implementação do projeto

Tabela 30: Processo de Educação do Consumidor

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Criação de campanhas informativas sobre VEs (características, benefícios financeiros e ambientais, segurança)	Ministério da Educação (MEC), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Fabricantes de VEs, Concessionárias de energia	Curto prazo (1 ano)	R\$ 8 milhões - Custos com mídia, publicidade e divulgação em plataformas digitais
Desenvolvimento de aplicativos para facilitar a gestão de ansiedade de alcance (<i>range anxiety</i>) e otimização do carregamento	Empresas de tecnologia, fabricantes de VEs, MCTI	Médio prazo (1-2 anos)	R\$ 6 milhões - Desenvolvimento e manutenção de aplicativos
Promoção de <i>test-drives</i> e demonstrações públicas de VEs	Fabricantes de VEs, Concessionárias de veículos, Prefeituras,	Médio prazo (1-2 anos)	R\$ 3 milhões - Organização de eventos e custos

	Centros de Tecnologia e Inovação		logísticos de demonstração
Capacitação de revendedores e vendedores sobre VEs	Fabricantes de VEs, Associações de revendedores, Instituições de ensino técnico	Curto prazo (1 ano)	R\$ 2,5 milhões - Cursos e treinamentos voltados para revendedores

6.3. Tecnologia

6.3.1. Projetos demonstradores

Os projetos demonstradores de tecnologia para VE são importantes para a EM porque servem como plataforma para testar e demonstrar novas tecnologias e inovações na área. Esses projetos geralmente envolvem a construção e teste de protótipos de veículos ou componentes, como baterias, *powertrain* e sistemas de carregamento, em um ambiente operacional. Ao demonstrar as capacidades dessas tecnologias, os projetos de demonstração de tecnologia podem ajudar a acelerar o desenvolvimento e a adoção de VE. Eles também podem ajudar a aumentar a conscientização pública e a sua aceitação, mostrando seu desempenho e recursos e destacando os benefícios de usá-los em relação aos MCIs tradicionais.

Além disso, projetos de demonstração de tecnologia podem fornecer dados e *insights* valiosos que podem ser usados para melhorar o design e o desempenho de VE e informar decisões políticas relacionadas ao desenvolvimento de infraestrutura e incentivos para apoiar sua adoção generalizada.

Sugere-se aprimorar o desenvolvimento tecnológico, por exemplo, implementando interfaces de comunicação padronizadas entre os veículos elétricos e a infraestrutura de carregamento para permitir a funcionalidade *plug & charge* e *Vehicle to Grid* (V2G). Esta refere-se a uma tecnologia que pode ajudar a tornar a rede elétrica mais eficiente, reduzir o custo de propriedade de VE e ajudar a integrar fontes de energia renováveis intermitentes (NOEL *et al.*, 2018). Os fabricantes de veículos e equipamentos precisam implementar uma solução padronizada para permitir o fornecimento de serviços de sistema de energia por VE, garantindo uma experiência de usuário satisfatória.

Promover o desenvolvimento de tecnologias de carregamento indutivo para facilitar o carregamento de oportunidade para ônibus e caminhões, reduzindo a capacidade de suas

baterias e seu custo de compra, e, desbloqueando sinergias utilizando a direção automatizada. O financiamento da C&T pelo governo pode intensificar o trabalho de pesquisa e promover melhorias tecnológicas principalmente na eletrificação de ônibus em pequenas cidades.

Deve-se incentivar o processo de desenvolvimento do reaproveitamento das baterias, por meio da segunda via, bem como o processo de reciclagem de forma a maximizarmos o aproveitamento dos insumos. Um processo de “*redesign*”, onde nos projetos de VE tenhamos a preocupação com o ciclo de vida dos seus componentes de forma a minimizarmos a geração de resíduos industriais perigosos. O reaproveitamento final de minerais estratégicos deve ser promovido.

6.3.2. Promover parcerias internacionais para o desenvolvimento de acumuladores

Segundo (HACHE *et al.*, 2019), 55% dos recursos globais e quase 50% da produção para BIL têm atualmente origem no triângulo ABC do Lítio, composto pela Argentina, Bolívia e Chile, países vizinhos e próximo do Brasil. Devemos garantir uma exploração sustentável e com menor impacto ambiental desses minerais. Apesar da presença de muitos novos participantes no setor de exploração, o mercado de Lítio ainda é dominado por um número limitado de empresas, incluindo as chinesas. O país poderia aproveitar sua capacidade mineradora e as vantagens de proximidade para desenvolver o uso de matérias primas estratégicas para baterias elétricas de alta capacidade. Iniciativas, como a implantação do ‘Colossus Cluster’, que estão ocorrendo no estado de Minas Gerais são promissoras (AGÊNCIA MINAS GERAIS, 2021).

Devido à alta procura pelos minerais estratégicos, que subiram de cotação de preço durante a pandemia da Covid-19, houve novos interesses de investimentos no Brasil. Um desses exemplos, é a mineradora Sigma Lithium, que desenvolve uma operação no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, que anunciou seu estudo de expansão de produção integrada de lítio para fabricação de baterias para carros elétricos (AMARO, 2022). Uma das preocupações são os processos mais ágeis para instalação dessas plantas, que atualmente têm um prazo muito estendido de alguns anos até a produção.

6.3.3. Recuperação de componentes

A recuperação de componentes de veículos elétricos é crucial para a eletromobidade por vários motivos:

- **Sustentabilidade ambiental:** A recuperação de componentes de VEs pode ajudar a reduzir o impacto ambiental da indústria automotiva. Os VEs são mais ecológicos do que os MCIs tradicionais, mas a produção de seus componentes requer matérias-primas e energia, e o descarte desses componentes no final de sua vida útil também pode ter um impacto ambiental. Recuperar e reciclar esses componentes pode ajudar a reduzir o desperdício e minimizar o impacto ambiental dos veículos elétricos.
- **Custo-benefício:** a recuperação de componentes de VEs pode ser econômica para fabricantes e consumidores. A reciclagem de materiais como BIL e metais de terras raras pode reduzir o custo de produção de novos componentes, e os consumidores podem comprar componentes recondicionados a um custo menor do que os novos.
- **Conservação de recursos:** a recuperação de componentes de VEs pode ajudar a conservar recursos valiosos. Muitos dos materiais usados em componentes de veículos elétricos são recursos finitos, e recuperar e reciclar esses materiais pode ajudar a garantir sua disponibilidade para as gerações futuras.
- **Criação de empregos:** A recuperação e reciclagem de componentes de VEs pode criar empregos nos setores de reciclagem e manufatura. À medida que a demanda por VEs continua a crescer, também aumenta a demanda por componentes e materiais reciclados.

Desta forma, a recuperação de componentes de veículos elétricos é essencial para promover sustentabilidade, economia, conservação de recursos e criação de empregos na indústria de EM.

Tabela 31: Ações para tecnologia

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Implantar projetos demonstradores para tecnologias de baterias, powertrain e carregamento.	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), empresas automotivas, universidades, centros de pesquisa (ex.: IPT, ITA), agências de financiamento (FINEP, BNDES).	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 50-100 milhões por projeto demonstrador
Desenvolver interfaces de comunicação padronizadas para funcionalidade <i>Plug & Charge</i> e V2G.	Empresas de tecnologia, fabricantes de veículos, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), universidades, Ministério de Minas e Energia (MME).	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 30-50 milhões por padronização e testes.

Promover o desenvolvimento de tecnologias de carregamento indutivo para ônibus e caminhões.	Empresas de transporte, fabricantes de caminhões/ônibus, universidades, Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR), agências internacionais de cooperação técnica.	Longo prazo (3-5 anos)	R\$ 100-200 milhões em pesquisa e testes.
Incentivar o reaproveitamento e reciclagem de baterias para reduzir impactos ambientais.	Empresas de reciclagem, fabricantes de baterias, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).	Longo prazo (3-5 anos)	R\$ 50-80 milhões em programas de incentivo.
Estabelecer parcerias internacionais para desenvolvimento de acumuladores e uso sustentável de minerais.	MCTI, Ministério das Relações Exteriores (MRE), empresas de mineração, países do Triângulo ABC do Lítio (Argentina, Bolívia e Chile), governos estaduais (ex.: MG).	Longo prazo (3-5 anos)	R\$ 20-50 milhões por parceria.
Acelerar processos de licenciamento ambiental para plantas de produção de lítio e baterias.	Ministério do Meio Ambiente (MMA), governos estaduais, IBAMA.	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 10-20 milhões para modernizar processos.
Criar programas para recuperação e reuso de componentes de VEs.	Indústria automotiva, empresas de reciclagem, MCTI, MMA, SENAI, associações do setor (ex.: Anfavea).	Longo prazo (3-5 anos)	R\$ 30-60 milhões em programas de capacitação.
Desenvolver clusters industriais voltados à recuperação e reciclagem de componentes de VE.	Governos estaduais (ex.: MG), MCTI, empresas automotivas e de reciclagem, universidades, BNDES, FINEP.	Longo prazo (5-8 anos)	R\$ 200-500 milhões para infraestrutura.

6.4. Redução do custo dos VE

6.4.1. Preço do carregamento

O preço da energia para carregar VEs é um fator importante para o crescimento e adoção da EM. Uma das principais vantagens destes são os custos operacionais (TCO) mais baixos em comparação com os MCIs tradicionais. No entanto, o custo da eletricidade usada para carregar

um veículo elétrico pode variar dependendo da localização e da hora do dia (horário de ponta²⁴). Em alguns casos, o custo da eletricidade pode ser elevado, o que pode desencorajar alguns consumidores a mudar para veículos elétricos.

Portanto, é importante que o preço da energia seja acessível e competitivo com os preços dos combustíveis fósseis, a fim de incentivar a adoção de VEs. Governos e concessionárias de energia elétrica podem desempenhar um papel em tornar o carregamento de VEs mais acessível, implementando políticas e incentivos que apoiem o desenvolvimento de uma infraestrutura de carregamento e promovendo o uso de fontes de energia renováveis. Além disso, os avanços na tecnologia de baterias e as melhorias na eficiência dos VEs também podem ajudar a reduzir o custo TCO de um VE.

6.4.2. Novos modelos de negócios

Os fornecedores de automóveis tradicionais estão particularmente em risco com o aumento dos VE, pois essa mudança pode prejudicar seus modelos de negócios e as cadeias de suprimentos existentes. À medida que os VE se tornam mais comuns, os fabricantes de sistemas de combustível, transmissões e sistemas de exaustão podem sofrer falhas na continuidade das operações. Aqueles com menos acesso a recursos digitais e flexibilidade financeira provavelmente terão mais dificuldades. Se não conseguirem se adaptar, muitas empresas que vendem peças para MCI podem estar em sério perigo (TELANG *et al.*, 2019). Para aumentar a venda de VE, os fabricantes de VE devem prestar atenção à diversidade e à criação de modelos atraentes e digitais, que atrairão muitos consumidores (GHOSH, 2020). Assim, um movimento de adaptação à mudança e de parcerias estratégicas tornar-se-á cada vez mais comum para os OEM.

A cadeia produtiva nacional no setor automobilístico é importante para a economia brasileira e, pode sofrer alterações na participação de mercado dos atuais *players*, principalmente os OEM, caso a eletrificação ganhe mais velocidade. Isso é uma força contrária, quando não encontrem os incentivos governamentais, já mencionados, que minimizam os riscos que os investimentos necessários precisam.

O mercado de revenda precisa ser reinventado no caso dos VE, pois não se sustentam no modelo de negócios atual e com as garantias oferecidas nas baterias. Novas formas de

²⁴ É considerado o horário ponta um período de três horas consecutivas, normalmente das 18h às 21h excluindo sábados, domingos e feriados. Neste horário a tarifa de energia e a demanda chegam a ter preço triplicado quando comparados aos valores cobrados nas demais horas do dia.

arrendamento mercantil (*leasing*) para baterias podem ser uma solução para esses novos modelos de negócio.

Tabela 32: Ações para abordar a redução do custo dos VEs

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Implementar tarifas diferenciadas para carregamento de VEs fora do horário de ponta.	Concessionárias de energia, ANEEL, Governos Estaduais e Municipais.	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 10-15 milhões por estado (ajustes tarifários e campanhas de comunicação).
Incentivar o uso de energia renovável em postos de carregamento.	MME, Concessionárias de energia, Setor privado.	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 50 milhões para subsídios iniciais e estruturação de linhas de crédito.
Promover a adaptação da infraestrutura nacional para carregamento rápido e ultrarrápido.	Governos Estaduais, MDIC, MME, Indústria Automobilística, Setor privado.	Longo prazo (3-10 anos)	R\$ 2-5 bilhões (parcerias público-privadas).
Desenvolver políticas de subsídios para tecnologias de baterias mais eficientes.	MCTI, FINEP, Indústria Automobilística, Universidades e Centros de Pesquisa.	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 100-300 milhões em financiamentos e subsídios.
Criar modelos de leasing e compartilhamento de baterias.	Bancos, Fabricantes de VEs, Associações Comerciais.	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 20 milhões para estruturação de pilotos e campanhas de adesão.
Oferecer incentivos fiscais para a fabricação local de baterias e componentes de VEs.	Receita Federal, Ministério da Fazenda, MDIC, Governos Estaduais.	Curto prazo (1-2 anos)	Redução de arrecadação tributária inicial estimada em R\$ 500 milhões.
Estimular a criação de <i>startups</i> e empresas de tecnologia para atender demandas do setor de VEs.	MDIC, Sebrae, BNDES, Parques Tecnológicos.	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 150-200 milhões em fundos de inovação e aceleração.
Redefinir a cadeia de valor do mercado automotivo, promovendo parcerias entre OEMs e novos players.	Indústria Automobilística, MDIC, Federações Industriais.	Longo prazo (3-10 anos)	Indefinido (custos distribuídos entre participantes da cadeia).

6.5. Melhoria da infraestrutura de carregamento

6.5.1. Incentivar municípios a regulamentar áreas centrais para eletropostos

Os carregadores rápidos, também conhecidos como eletropostos, *Fast Charge* DC ou carregadores ultrarrápidos, são os mais potentes existentes em uso e conseguem realizar a recarga da bateria de um veículo elétrico em poucos minutos, sendo ideais para postos de serviço e abastecimento, rodovias e frotistas. A carga desses carregadores ultrarrápidos é realizada no modo de carga nível 3²⁵ e ele está disponível para ambas as correntes – corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC). Em CA, a estação fornece energia a uma potência de 40 a 60 kW, enquanto em CC, a potência chega até a 400 kW, ficando limitado à potência máxima de recarga do próprio VE.

Incentivar os governos locais, principalmente prefeituras de municípios, a integrar melhor a infraestrutura de carregamento público em espaços públicos, seja por meio da liberação de áreas para instalação dos carregadores que sejam centrais nos centros urbanos. Uma vez que o espaço público é limitado nas áreas urbanas, uma integração perfeita da infraestrutura de carregamento precisa ser alcançada para obter a aceitação do público para VE.

6.5.2. Melhorar programas de concessão rodoviária

A infraestrutura de carregamento se dará pela iniciativa privada que já está investindo. Há a criação de um novo “*player*” – o integrador – que se posiciona entre a distribuidora de energia (fornecedora) e o consumidor (usuário). Ele vai identificar as oportunidades de instalação de carregadores rápidos bem como permitir as cobranças, que hoje já ocorrem por tempo ou por kW/h. O ideal são distâncias não maiores que 200 km, visto a autonomia dos modelos de VE atual, e que sejam integrados por aplicativos (V2G) que permitem fazer reserva de horário de carregamento e que disponibilizem sua ocupação em tempo real.

Os programas de concessão rodoviárias deveriam estabelecer obrigações aos concessionários de instalação de pontos de carregamentos ultrarrápidos (CC), de no mínimo 60 kW, de forma que rapidamente poderíamos contar com uma rede de eletropostos no país. Pontos turísticos deveriam ser incentivados a fazer essa implantação atraindo, assim, esse usuário do VE. Destaca-se aqui, um projeto de lei do Senado Federal (PLS 392/2023), que determina a obrigatoriedade de pontos de recarga para VEs em postos de abastecimento nas rodovias federais.

²⁵ O nível de carga 1 são carregadores mais simples que funcionam com carga de 110/220 V, com corrente de até 16 A e podem ser ligados diretamente na tomada de 3 pinos. O nível de carga 2, operam com maior potência e operam com carga de 220/380 V e suportam uma corrente de até 32 A, mas a tomada deve ser industrial. Estes alcançam uma potência de 3,7 kW até 22 kW.

Tabela 33: Ações para melhoria da infraestrutura de carregamento

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Criar regulamentações municipais para liberação de áreas centrais para instalação de eletropostos.	Prefeituras, Governos Estaduais, Concessionárias de energia, Ministério das Cidades	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 50-100 mil por município (campanhas e regulamentos).
Promover incentivos fiscais para instalação de carregadores ultrarrápidos em áreas públicas.	Ministério da Fazenda, MDIC, Prefeituras.	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 200 milhões em incentivos nacionais.
Estabelecer obrigações em contratos de concessão rodoviária para incluir eletropostos.	ANTT, Concessionárias Rodoviárias, Ministério dos Transportes, Congresso Nacional (PLS 392/2023).	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 500-800 mil por eletroposto (custeados por concessionárias).
Desenvolver e implementar aplicativos integradores para gestão e reservas em eletropostos.	Empresas de tecnologia, Concessionárias de energia, <i>Startups</i> de mobilidade, MCTI, FINEP.	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 50-100 milhões (desenvolvimento e manutenção inicial)
Criar programas de financiamento para instalação de carregadores ultrarrápidos em pontos turísticos.	BNDES, Bancos privados, Ministérios das Minas e Energia e Meio Ambiente.	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 300 milhões em linhas de crédito.
Incentivar a implantação de infraestrutura de carregamento em rodovias com distâncias menores que 200 km entre pontos.	Ministério dos Transportes, Concessionárias Rodoviárias, Setor Privado.	Longo prazo (3-10 anos)	R\$ 1-2 bilhões (investimentos privados e públicos).
Promover campanhas educativas sobre o uso de eletropostos e vantagens dos VEs.	MCTI, MDIC, Associações de Veículos Elétricos, ONGs ambientais.	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 10-15 milhões (divulgação nacional).

6.6. Promover a melhoria da mobilidade urbana

A mobilidade deve ser entendida como sistêmica e para desbloquear as oportunidades ambientais e econômicas associadas à absorção do mercado, três estratégias de políticas são mais eficazes: preços que refletem os custos, tecnologia inteligente e planejamento de

infraestrutura integrada (HILDERMEIER *et al.*, 2019). Soluções de compartilhamento de VE e o uso de levíssimos levam à transição da cultura, hoje dominada pelo automobilismo.

6.6.1. Incentivo do uso do transporte público sustentável

De fato, muitas das estratégias de governos locais já preveem um crescimento da demanda por ônibus em 50% em breve, com veículos elétricos, e com investimentos em infraestrutura e melhoria da malha (FERNANDEZ-SANCHEZ; FERNANDEZ-HEREDIA, 2018; GÓMEZ-LOBO; BRIONES, 2013). Exemplos de novas regulamentações e implementações em cidades como Santiago no Chile e Bogotá na Colômbia inspiram as autoridades municipais brasileiras nesta transição como São José dos Campos, São Paulo, Salvador, Brasília, Goiânia, Curitiba etc. Entretanto, esta expectativa de crescimento da demanda pode ter sido afetada pela pandemia da COVID-19 em razão das preocupações dos usuários com segurança das viagens e higiene, que pode afetar a mobilidade, sendo recomendado promover a micro mobilidade (bicicletas, *e-scooters*) (RAHMAN *et al.*, 2021).

Melhorar a segurança pública e o uso de vias exclusivas para bicicletas ou patinetes elétricos, incentiva soluções de última milha nos grandes centros urbanos, que poderiam ser despoluídos como já ocorre em algumas cidades europeias (Amsterdan, Bruxelas, Gante, Barcelona, Birmingham, Paris, Helsinki, Oslo etc.), que fecharam parcialmente seus acessos aos veículos.

6.6.2. Promover soluções de encurtamento dos deslocamentos

A liberdade de mobilidade que o veículo nos dá e a cultura do automobilismo são desafios aos meios de transporte públicos, que devem-se mostrar rentáveis e de preço baixo (SOVACOL, Benjamin K.; AXSEN, 2018). Um transporte público de qualidade e de preço baixo é uma oportunidade para frotas de VE, que devem ser cada vez mais autônomos melhorando a segurança e minimizando custos. As cidades que operam o regime de concessão deste transporte público estão criando oportunidades à EM, seja de ônibus assim como para frotas de veículos elétricos leves de carga para entregas (*delivery*).

Programas municipais como ‘Cidade a 15 minutos’ proposta em Paris onde a vida dos cidadãos ficaria próximo a um deslocamento de 15 minutos, visam a desincentivar essa cultura do automobilismo. A cidade a 15 minutos é um conceito que preconiza uma organização da cidade para que os moradores tenham acesso à maioria de seus destinos de trabalho, compras, cuidados, educação e lazer em menos de um quarto de hora de caminhada ou ciclismo. Combina

os conceitos de ambientes de vida completos e cidade policêntrica, adotando a perspectiva individual ao invés da perspectiva coletiva.

6.6.3. Promoção do uso de VE elétricos levíssimos

A mobilidade elétrica utilizando veículos levíssimos como solução de última milha devem ser incentivados em centros urbanos antigos com ruas estreitas e onde uma boa caminhada possa ser estimulada. O aumento das redes de ciclovias e de faixas exclusivas para levíssimos devem ser promovidas pelas autoridades municipais, melhorando o trânsito, a segurança, minimizando emissões e melhorando a saúde da população, principalmente para as grandes metrópoles. As soluções de compartilhamentos devem crescer, apesar dos desafios que existem para os operadores em um país como o Brasil, onde os custos de importação e de investimento inicial podem inviabilizar sua operação.

Tabela 34: Ações para a promoção da melhoria da mobilidade urbana

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Incentivar o uso de transporte público sustentável, incluindo a adoção de ônibus elétricos.	Prefeituras, Ministérios das Cidades e Meio Ambiente, Empresas de Transporte Público.	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 2-3 bilhões (subsídios e infraestrutura inicial).
Promover a implantação de vias exclusivas para bicicletas e patinetes elétricas.	Prefeituras, Governos Estaduais, Ministérios do Meio Ambiente e das Cidades.	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 1-2 milhões por quilômetro de via exclusiva.
Criar programas para incentivar a micro mobilidade (bicicletas, e-scooters) com subsídios e infraestrutura.	Prefeituras, Startups de Mobilidade, Empresas Privadas, BNDES.	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 500 milhões (nacional).
Implementar o conceito de “Cidade a 15 minutos” em grandes centros urbanos.	Prefeituras, Ministérios das Cidades e do Planejamento, Universidades.	Longo prazo (5-10 anos)	R\$ 5-10 bilhões (infraestrutura e reconfiguração).
Estimular concessões públicas para VEs leves de carga em serviços de entrega urbana.	Prefeituras, Empresas Privadas de Logística, Ministérios das Cidades e do Meio Ambiente.	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 1-2 bilhões (incentivos fiscais e subsídios).
Promover o uso de VEs levíssimos como solução de última milha.	Prefeituras, Empresas de Mobilidade Compartilhada, Concessionárias de Energia, Startups.	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 200-500 milhões (subsídios e infraestrutura).

Desenvolver campanhas educativas para incentivar o uso de transporte sustentável e micro mobilidade.	Ministérios do Meio Ambiente e das Cidades, Prefeituras, ONGs.	Curto prazo (1-2 anos)	R\$ 50-100 milhões (divulgação nacional).
Promover o aumento das redes de ciclovias em áreas urbanas densas.	Prefeituras, Governos Estaduais, Empresas de Engenharia e Planejamento Urbano.	Longo prazo (3-10 anos)	R\$ 500 milhões a R\$ 1 bilhão (nacional).
Criar subsídios para incentivar a produção nacional de VEs levíssimos.	MDIC, Receita Federal, BNDES, Fabricantes Nacionais de Mobilidade Elétrica.	Médio prazo (2-3 anos)	R\$ 1-2 bilhões (subsídios e linhas de crédito).

6.7. Incentivos ao meio ambiente

Conforme visto na Figura 6 deste trabalho, proposta por (BERKELEY *et al.*, 2017), e pela revisão sistemática na literatura científica e na *gray literature* executada, o Brasil está em vias de ultrapassar o abismo da EM. Apesar das forças crescentes que ajudam a EM como: as questões ambientais como o Acordo de Paris, as legislações municipais do clima e as regulamentações de emissões; os incentivos fiscais e de P&D do Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística e os projetos financiados pela ANEEL; e, a infraestrutura que está crescendo lentamente, mas consistentemente impulsionada por projetos instalados sobre rodovias; há ainda muitas forças contrárias.

6.7.1. O uso de biocombustíveis como fator que impulsiona à eletromobilidade

Em 2021 foram os carros híbridos (*plug in* ou não) que lideraram os VE leves mais licenciados no País. Apesar de seu custo maior (preço final de compra) que os MCI, eles apresentam vantagens aos BEV, pois podem ser abastecidos com gasolina ou álcool (*flexfuel*) e, não dependem de uma infraestrutura de carregadores ainda em construção no país. Os usuários de VE diminuem a ansiedade de autonomia (“*range anxiety*”) com os veículos híbridos.

O estabelecimento do Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL) em 1975 marcou no país o início de um modelo único que promove a produção em larga escala e o uso de biocombustíveis para transporte. O PROALCOOL foi criado com o objetivo de promover a produção de etanol e, assim, reduzir os impactos econômicos e ambientais da gasolina importada. Além do etanol, em 2005, o Brasil passou a promover a produção de biodiesel como

alternativa ao óleo diesel derivado do petróleo. Assim, a contínua promoção dos combustíveis alternativos empoderaram a hibridização elétrica.

O país, em virtude de suas particularidades, como o bem-sucedido PROÁLCOOL que resultou em uma frota atual eminentemente *flexfuel*, onde o etanol é um grande destaque e, por sua matriz energética renovável, apesar de muito dependente da energia hidráulica (65,2% da oferta de energia) e do regime de chuvas, não apresenta as mesmas motivações que os outros países. Em todos os casos, como colocado em (GLENSOR; MARÍA ROSA MUÑOZ, 2019), deve-se garantir que qualquer terra adicional usada para o cultivo de matérias-primas para biocombustíveis deve vir de terras já desmatadas, como terras agrícolas usadas para outras culturas, pastagens degradadas ou locais abandonados.

O Brasil apresenta uma dependência externa de 25,2% no diesel, que por ser usado no transporte de pessoas e cargas, possui grande impacto na nossa sociedade (EPBR, 2022). Devemos utilizar a competência do país em biocombustíveis para reduzir a demanda por diesel em investimentos em diesel verde, por meio da construção de biorrefinarias, substituindo até 100% do diesel mineral. O diesel verde ou renovável é um biocombustível avançado produzido a partir de matérias-primas renováveis, como óleos vegetais, gorduras animais ou até mesmo óleo de cozinha usado. Deve-se continuar a aumentar o teor de biodiesel no diesel, conjugado à realização de testes junto à indústria automotiva, para serem usados teores superiores a 15%, e utilizar-se o biometano e gás natural, como GNV e GNL, para veículos pesados, como a implementação das recomendações da iniciativa de Corredores Sustentáveis (TRANSPORTE MODERNO, 2022). Assim, devemos utilizar os biocombustíveis como fonte energética utilizando-se das competências já construídas no país, sem como isso estabelecer barreiras à EM. Assim, conforme (BARASSA *et al.*, 2022), não há dualidade entre eletrificação e os biocombustíveis – pelo contrário – há uma complementariedade que traz uma condição ímpar ao país.

Entretanto, na Tabela 15 este é o item de maior discordância entre os 38 respondentes com uma variância do Z-Score de 1,648. A cadeia sucroalcooleira tem uma influência muito forte no público pesquisado e de uma época recente, no governo Lula (2003 a 2011), quando o etanol brasileiro foi apresentado globalmente como uma solução de descarbonização para os combustíveis fósseis. Isso pode explicar a posição de alguns entrevistados que a descarbonização passa pela adoção de biocombustíveis e a extensão dos motores à combustão. As transições energéticas, como descrito no relatório da (EPE, 2018b, p. 13) são processos usualmente lentos como revela a história da indústria da energia.

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), por meio da Resolução nº07 de 20 de abril de 2021 instituiu o Programa Combustível do Futuro e criou o Comitê Técnico Combustível do Futuro visando ampliar, ainda mais, o uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono. Este Programa surge na mesma época dos crescentes aumentos de preços do diesel e da gasolina ocorridos quando do arrefecimento da pandemia da COVID-19 e do início da Guerra da Ucrânia. Os objetivos parecem estar mais focados em reduzir custos na geração de energia de biomassa.

6.7.2. A aceleração da oferta de energia solar e eólica

Visto as mudanças climáticas que estão alterando o regime de chuvas, sem investimentos que impulsionem ainda mais fontes energéticas renováveis (eólica, solar e de biomassa) o país poderá enfrentar novas crises energéticas que atuam contra a transição e aumentam o preço da energia, e que afastam o consumidor do VE. Segundo o Balanço Energético Nacional publicado pela (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2021, pág.16), a oferta interna de energia elétrica solar foi em 2020 de 1,66% e a eólica é de 8,8%, somando-se 10,46%, percentuais que devem crescer nos próximos anos com as compras governamentais por meio de leilões, mas que ainda são pequenos quando comparados com a oferta da energia hidráulica. Os investimentos apresentam um tempo de maturação dos projetos para a entrada em operação que necessitam ser acelerados.

6.7.3. Incentivo à troca de experiência entre cidades

As principais abordagens e estratégias que as cidades usam para reduzir as emissões de transporte incluem mudar para modos eficazes (por exemplo, transporte público ou transporte não motorizado) e aumentar a eficiência das frotas por meio da mudança para tecnologias de emissão zero. A “Declaração de Intenções do Ônibus Limpo”, assinada por 26 cidades que representam o ‘*C40 Cities Climate Leadership Group*’ e apoiada por 10 cidades latino-americanas, é um bom exemplo de compromisso inter-regional e internacional desses esforços (BEZRUCHONAK, 2019). O ‘*C40 Cities Climate Leadership Group*’, em particular, se promove como uma rede que permite que as cidades aprendam umas com as outras em seus esforços para enfrentar as mudanças climáticas (HEIKKINEN; YLÄ-ANTTILA; JUHOLA, 2019).

É preciso destacar aqui dois projetos de transporte público de zero emissões dentro do contexto latino-americano que devem ser aqui citados:

- i) Projeto ZEBRA (*Zero Emission Bus Deployment accelerator*) que tem como objetivo acelerar a implementação de ônibus de zero emissão em quatro cidades latino-americanas: Cidade do México, Medellín (Colômbia), Santiago do Chile e São Paulo (Brasil). O projeto é financiado pelo P4G (*Partnering for Green Growth and the Global Goals 2030*), liderado pelo ICCT (*The International Council on Clean Transportation*) e a C40 Cities com o apoio da WRI (*World Resources Institute*) e o Centro Mario Molina do Chile.
- ii) Projeto TUMI (*Transformative Urban Mobility Initiative*), que apoiará 20 cidades do Sul Global na sua transição para a inserção de ônibus elétricos. A missão TUMI E-Bus contribui significativamente para o objetivo de criar sistemas de transporte urbano sustentáveis e inclusivos com emissões de CO₂ fortemente reduzidas. As cidades latino-americanas que participam na primeira fase desse projeto são: Cidade do México, Monterrey e Guadalajara, no México; Bogotá, Barranquilla e Valledupar, na Colômbia; São Paulo, Campinas, Rio de Janeiro, Curitiba e Salvador, no Brasil. O TUMI E-Bus Mission é financiado pelo Ministério Alemão de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ) em parceria com GIZ, C40 Cities, ICCT, WRI, ITDP (*The Institute for Transportation and Development Policy*), ICLEI (*Local Governments for Sustainability*) e o UITP (*The International Association of Public Transport*) (TUMI, 2022).

6.8. Resultados de uma Estratégia Nacional

A definição de uma estratégia nacional de eletromobilidade pode trazer diversos benefícios, como domínio tecnológico, redução de emissão de CO₂ ao meio ambiente e crescimento do mercado automobilístico. Alguns resultados possíveis:

- Domínio tecnológico: Desenvolver e implementar uma estratégia nacional para EM exigiria investimentos significativos em P&D de novas tecnologias, como VEs, infraestrutura de carregamento e tecnologias de bateria. Isso levaria ao domínio tecnológico no campo da EM, o que beneficiaria não apenas a indústria automobilística, mas também outros setores, como energia renovável e tecnologias de redes inteligentes.
- Redução de emissão de CO₂ ao meio ambiente: a eletrificação do setor de transporte levaria a um afastamento dos combustíveis fósseis, que são uma importante fonte de poluição do ar e emissões de GEE. Ao incentivar o uso de VEs, uma estratégia nacional de EM pode ajudar a reduzir a pegada de carbono do setor de transporte e promover

uma matriz elétrica mais limpa alimentada por fontes de energia renováveis, como energia eólica, solar e hidrelétrica.

- Crescimento do mercado automobilístico: Uma estratégia nacional de EM criaria oportunidades para o crescimento do mercado automobilístico, principalmente na produção e comercialização de VEs. Isso também levaria ao desenvolvimento de uma nova cadeia de suprimentos para componentes como baterias, motores elétricos e eletrônicos de potência. Além disso, a disponibilidade de infraestrutura de carregamento aumentaria a demanda por VEs, impulsionando ainda mais o crescimento do mercado.

No geral, uma estratégia nacional para EM tem o potencial de trazer mudanças positivas significativas em várias áreas, incluindo tecnologia, meio ambiente e economia.

Tabela 35: Ações de promoção ao meio ambiente

Ação	Possíveis Atores Responsáveis	Prazo	Estimativa de Custos
Desenvolvimento de políticas públicas para promoção de biocombustíveis	CNPE, Ministério de Minas e Energia (MME), ANP, Indústria Sucroalcooleira	Curto e Médio Prazo (1-5 anos)	R\$ 50-100 milhões
Incentivo à pesquisa e desenvolvimento e melhoria da qualidade em biodiesel e biorrefinarias	MCTI, Empresas do setor de biocombustíveis, Instituições de pesquisa	Médio e Longo Prazo (3-5 anos)	R\$ 500 milhões - R\$ 1 bilhão
Realização de testes com teor de biodiesel superior a 15% até 25% (combustível do futuro)	MME, Indústria automotiva, ANP, Instituições de pesquisa	Curto Prazo (1-3 anos)	R\$ 10-20 milhões
Expansão da energia solar e eólica	Ministério de Minas e Energia, ANEEL, Empresas de Energia Renovável	Médio e Longo Prazo (3-10 anos)	R\$ 5-10 bilhões

Apoio a projetos de infraestrutura de carregadores para VEs	Ministérios das Cidades e de Minas e Energia (MME), Iniciativa privada, Bancos de Desenvolvimento (BNDES)	Curto e Médio Prazo (2-5 anos)	R\$ 500 milhões - R\$ 1 bilhão
Incentivo à troca de experiências entre cidades	Ministério das Cidades, ONGs, Municípios	Curto Prazo (1-2 anos)	R\$ 10-30 milhões
Implementação de projetos como ZEBRA e TUMI	Parcerias público-privadas, ONGs	Curto e Médio Prazo (1-3 anos)	R\$ 50-100 milhões
Desenvolvimento de uma estratégia nacional de eletromobilidade	MCTI, MDIC, Ministério de Minas e Energia, Indústria Automotiva, Universidades	Curto Prazo (1-2 anos)	R\$ 20-50 milhões
Promoção da pesquisa em tecnologias de baterias e redes inteligentes	MCTI, FINEP, Instituições de pesquisa (ICTs), Empresas de tecnologia	Médio e Longo Prazo (3-5 anos)	R\$ 1-2 bilhões
Implementação de leilões para energia renovável	ANEEL, Ministério de Minas e Energia, Empresas de energia	Médio Prazo (2-4 anos)	R\$ 1-3 bilhões (setor privado)

6.9. Principais recomendações de ações para a EM

O Brasil pode atravessar o abismo para uma transição elétrica no transporte por meio de uma combinação de incentivos políticos e tecnológicos propostos no framework (Figura 12). O olhar à frente é sempre mais difícil que o olhar no retrovisor do passado, quando os dados podem revelar mais facilmente os fenômenos ocorridos. Os estudos de (BENVENUTTI; RIBEIRO; URIONA, 2017) que fazem uma prospecção desta transição, mesmo no melhor cenário, não são tão otimistas como os de (BARASSA; CRUZ; MORAES, 2021), que estimam,

no cenário agressivo, que os veículos leves elétricos (HEV, PHEV e BEV) atinjam 20% da frota dos veículos vendidos em 2030.

Este cenário é corroborado pela visão sobre eletromobilidade da EPE no caso de um cenário alternativo, onde os desafios seriam superados com uma inequívoca aceleração da entrada da EM após 2030 e a substituição plena dos veículos até 2045 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2018). Alguns estudos são mais auspiciosos que chegam a projetar que, em 2030, cerca de 41% do total de veículos licenciados no Brasil serão VE, desconsiderando os híbridos (KPMG DEUTSCHLAND, 2016), muito diferente do cenário presente.

As previsões da (KPMG; SAE; AUTODATA, 2021) encomendadas pela ANFAVEA são audaciosas mesmo em um cenário inercial onde os MCI sustentam a penetração ainda elevada nos próximos 15 anos em veículos leves e projetam que as vendas de VE atinjam 12% em 2030 e 32% em 2035. Já (BARASSA *et al.*, 2022) no 2º Anuário da Mobilidade Elétrica, considerando o segmento de BEV e PHEV de maneira unificada, a participação dessa modalidade de VE responderia por 21,5% do total de licenciamentos, em 2030, no cenário moderado, chegando a 36,2% no cenário agressivo, assim, em um cenário muito otimista.

Segundo a (ABVE, 2023) as vendas em 2022 atingiram 49.245 veículos, ou 41% acima de 2021 (34.990) e a frota eletrificada já está em 126.504 veículos, incluindo HEV, PHEV e BEV.

De forma as principais recomendações de ações são transcritas na Tabela 24, mas não se encontram em ordem de prioridade, pois essas podem se dar simultaneamente em escalas diferenciadas em diversas esferas de governo (local, regional, nacional ou internacional). Essas ações podem diminuir o abismo da transição elétrica.

Tabela 36: Principais recomendações de ações para a EM.

Item	Eixo Estratégico	Ação
1	Visão ampla a favor da EM	Regulamentação ou normatização Definição de regulamentos para a disponibilidade de instalações de carregamento em edifícios e incentivo ao consumo “fora da ponta” Incentivos fiscais e adaptação à cadeia produtiva global Definição de regras de convivência viária

Item	Eixo Estratégico	Ação
		Estabelecimento de requisitos técnicos de construção e segurança para veículos elétricos Definição de uma governança Atuação no lado da demanda
2	Requalificação dos Recursos Humanos	a. Capacitação de recursos humanos b. Processo de educação do consumidor
3	Incentivo ao desenvolvimento de tecnologias de propulsão	a. Promoção de pesquisa e desenvolvimento aplicado para gerar inovação b. Promover parcerias internacionais para o desenvolvimento de acumuladores
4	Redução do custo dos VE	a. Redução dos custos das baterias elétricas b. Transição elétrica da cadeia de manufatura
5	Melhoria da mobilidade urbana	a. Incentivar municípios a regulamentar áreas centrais para eletropostos b. Melhorar programas de concessão rodoviária
6	Promover rotas técnicas para introduzir à EM a melhoria da mobilidade urbana	a. Incentivo do uso do transporte público sustentável b. Promover soluções de encurtamento dos deslocamentos c. Promoção do uso de VE elétricos levíssimos
7	Incentivos a oportunidades	a. O uso de biocombustíveis como fator que impulsiona à eletromobilidade

Item	Eixo Estratégico	Ação
	ambientais para educação e mobilidade urbana	b. A aceleração da oferta de energia solar e eólica c. Incentivo à troca de experiência entre cidades

6.10. Resultados da validação das recomendações de uma Estratégia Nacional em EM

De forma a validarmos as ações inicialmente propostas realizou-se 13 entrevistas entre os dias 21 de setembro de 2022 e 16 de dezembro de 2022 com 14 pessoas que comentaram os pontos inicialmente propostos, conforme estabelecido no item 3.12. Essas pessoas contribuíram com as principais recomendações de ações para a EM e seus principais comentários na forma de “*bullet points*” foram colocados no Anexo 3. A seguir as principais considerações e diferenças levadas à cabo:

6.10.1. Visão ampla a favor da EM Políticas governamentais que impulsionem à EM

Não houve divergência nas propostas neste eixo específico. Existe uma clara correlação entre a visão ampla a favor da EMs (eixo 1) e rotas técnicas para introduzir à EM (eixo 6), já que ambos estão relacionados a políticas que promovem a mobilidade elétrica. Vários entrevistados ressaltaram a necessidade de incentivar o uso de VEs ou híbridos no transporte público. Eles enfatizaram a importância das regulamentações para impulsionar o setor e oferecer mais garantias aos investidores privados. Além disso, mencionaram o desenvolvimento do mercado de créditos de carbono como um impulsionador dos investimentos.

A questão da governança foi levantada e solicitou-se a remoção na proposta da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), uma vez que não é um fórum oficial de governança. Reunir os *stakeholders* em um fórum pode promover as necessidades do setor e estabelecer estratégias para novas metas e indicadores. É essencial que o país se adapte à cadeia global de valor.

6.10.2. Requalificação de recursos humanos

Os comentários dos entrevistados reforçam a importância de melhorar e aprimorar a capacitação dos recursos humanos, especialmente no que diz respeito à qualificação dos

vendedores para fornecer informações precisas sobre veículos elétricos (VEs), uma vez que os consumidores têm conhecimento limitado sobre eles. Com o aumento do número de VEs no mercado, é essencial capacitar profissionais para realizar a manutenção e operação desses veículos, conforme destacado nas entrevistas. Além disso, é crucial que as instituições acadêmicas se preocupem em formar profissionais futuros que atuem na indústria automobilística, levando em consideração também os serviços que serão prestados com o auxílio da inteligência artificial.

A integração entre a parte superior dos VEs (sistemas embarcados) e a parte inferior (propulsão) representa um desafio técnico que demanda capacitação especializada de recursos humanos. O desenvolvimento de VEs autônomos (AEVs), por exemplo, exige inovações significativas em algoritmos baseados em dados, inteligência artificial, tecnologias robustas de sensores e sistemas de comunicação inteligentes (Abro et al., 2023). Essa integração é essencial para alcançar sinergias entre os sistemas de propulsão e as funcionalidades de automação, permitindo a coordenação entre sensores, controle de motores e gestão energética em tempo real. Além disso, a criação de protocolos de comunicação eficazes, como V2V (veículo a veículo), V2I (veículo a infraestrutura) e V2G (veículo à rede), é fundamental para melhorar a segurança, eficiência e sustentabilidade ambiental. Portanto, formar profissionais capacitados para lidar com essa complexa interface tecnológica é crucial para impulsionar avanços no setor de mobilidade elétrica e alcançar os benefícios de segurança, redução de custos e impacto ambiental positivo prometidos por AEVs.

6.10.3. Incentivo ao desenvolvimento de tecnologias de propulsão

Um dos entrevistados ressaltou que os serviços nos VEs estão diretamente ligados ao desenvolvimento de aplicativos e “*Software as a Service*” (SaaS), e outro, que a indústria nacional ainda depende da importação de tecnologia nesse aspecto. Essa observação destaca a necessidade de se investir em P&D de soluções tecnológicas próprias, a fim de impulsionar a indústria nacional nesse setor em expansão.

Além disso, foi discutida a importância de considerar a segunda vida das baterias dos VEs. O descarte inadequado dessas baterias pode representar um problema ambiental significativo, portanto, é fundamental desenvolver soluções tecnológicas para reaproveitá-las ou reciclá-las de forma sustentável. Esse aspecto reforça a importância de direcionar recursos para a ciência e tecnologia, por meio de um aumento no orçamento da União, a fim de apoiar o desenvolvimento necessário nessa área.

A bateria dos VEs também foi destacada como um elemento-chave no desenvolvimento tecnológico. Seu avanço e aprimoramento são cruciais para garantir maior autonomia e eficiência aos veículos elétricos. Portanto, investir em pesquisas e inovações voltadas para aperfeiçoar a tecnologia das baterias é essencial para impulsionar a adoção dos VEs.

Outro ponto relevante abordado pelos entrevistados foi a possibilidade de migração da indústria eletrônica para a automobilística. Com o surgimento de novos players nesse setor, como ocorreu com a Tesla nos Estados Unidos, a indústria eletrônica nacional poderia encontrar oportunidades para se expandir e se adaptar às demandas dos VEs. Essa convergência entre os setores traz consigo a necessidade de desenvolvimento de tecnologias integradas, estimulando ainda mais o avanço da indústria automobilística no país.

A integração de inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina (AM) nos VEs está se tornando cada vez mais essencial, não apenas para a segurança da informação, mas também para otimizar a operação e funcionalidade dos sistemas embarcados. (MOHAMED *et al.*, 2023) destacam que algoritmos como aprendizado profundo (*deep learning*) e redes neurais têm sido amplamente utilizados em aplicações como autenticação, detecção de intrusões e prevenção de ataques, representando cerca de 70% das soluções estudadas. Além disso, a combinação de tecnologias como *blockchain* com IA e AM tem ganhado atenção crescente para aprimorar a segurança e a integridade dos dados. Para viabilizar essas inovações, há uma necessidade crítica de chips cada vez mais avançados, capazes de suportar o processamento intensivo de dados em tempo real. Esses chips permitem a execução de algoritmos sofisticados diretamente nos veículos, otimizando desde o gerenciamento energético até a integração de soluções de segurança e conectividade. Investir no desenvolvimento de *hardware* dedicado e na aplicação de IA em VEs é, portanto, uma estratégia indispensável para impulsionar a próxima geração de mobilidade inteligente e segura.

6.10.4. Redução dos custos dos VE

A redução de custos dos VEs é uma questão crucial para impulsionar sua adoção em larga escala. Diversas contribuições apontam para caminhos promissores nesse sentido. Uma das possibilidades é explorar novos combustíveis, como o hidrogênio. Isso abriria espaço para o desenvolvimento de uma cadeia de produção local baseada em veículos híbridos.

A redução de custos nos VEs virá por meio de dois principais fatores: a escala de produção e a evolução tecnológica. É fundamental apostarmos em uma mobilidade pública mais eficiente e produtiva, que inclua um transporte público de qualidade. Ao investir nesse tipo de

mobilidade, podemos obter ganhos significativos em termos de redução de custos, tornando os VEs uma alternativa mais atrativa para o público em geral.

Uma das sugestões mencionadas é a isenção de taxas para os VEs importados, o que poderia estimular a demanda, mas também trazer desafios relacionados à infraestrutura de carregadores. Para lidar com essa questão, é necessário um planejamento adequado e investimentos estratégicos na instalação de uma infraestrutura robusta de carregamento, capaz de atender à demanda crescente por energia elétrica.

Outra contribuição relevante é a defesa da produção nacional de baterias e componentes, visando a redução de custos e a diminuição da dependência de commodities, como o Lítio, que são frequentemente exportadas sem a agregação de valor. Ao estimular a produção local, podemos fortalecer a indústria nacional e aproveitar os recursos disponíveis em nosso território, contribuindo para a criação de empregos e o desenvolvimento econômico.

Além disso, é importante ressaltar que os minerais desempenham e continuarão a desempenhar um papel fundamental no custo das baterias. É necessário explorar opções sustentáveis e alternativas aos minerais de alto custo, buscando soluções inovadoras que possam reduzir os gastos com matérias-primas e tornar os VEs mais acessíveis.

Dessa forma, a redução de custos dos veículos elétricos depende de uma série de fatores interconectados, incluindo a busca por novos combustíveis, a escala de produção, o investimento em tecnologia, a promoção da mobilidade pública eficiente, a infraestrutura de carregadores e a produção local de baterias e componentes. Ao adotar abordagens integradas e estratégicas, poderemos superar os desafios e impulsionar uma transição bem-sucedida para os veículos elétricos, beneficiando tanto a economia quanto o meio ambiente.

6.10.5. Melhoria da mobilidade urbana

A infraestrutura de carregamento de VEs no Brasil é um desafio significativo que requer atenção imediata. Atualmente, é essencial que proporcionemos às empresas os meios necessários para que elas também invistam nessa área promissora. No entanto, para alcançarmos um futuro em que tenhamos tantos postos de carregamento de VEs quanto os postos de abastecimento de combustíveis convencionais, não podemos nos demorar nessa transição.

Para impulsionar o crescimento da infraestrutura de carregamento de VEs, é fundamental implementar incentivos além da simples instalação de infraestrutura de energia

mais barata. Esses incentivos podem assumir várias formas, como programas de subsídios ou benefícios fiscais, a fim de encorajar as empresas a investirem no setor de carregamento de VEs.

Além disso, é crucial que sejam estabelecidos padrões e regulamentos claros para a instalação e operação dos postos de carregamento de VEs. Essas diretrizes ajudariam a garantir a segurança, a qualidade e a interoperabilidade dos sistemas de carregamento, proporcionando uma experiência consistente e confiável para os usuários de VEs em todo o país.

Outra área importante a ser considerada é a expansão da rede de carregamento rápido de VEs em rodovias e áreas urbanas estratégicas. Isso permitiria viagens de longa distância com maior tranquilidade, eliminando a preocupação com a autonomia limitada dos veículos elétricos. A instalação de estações de carregamento rápido em postos de serviço existentes ou em áreas de estacionamento de centros comerciais e supermercados também desempenharia um papel fundamental na popularização dos VEs.

Assim, é crucial promover a conscientização e a educação sobre os benefícios dos VEs e da infraestrutura de carregamento. Informar os consumidores sobre a disponibilidade de pontos de carregamento e as vantagens ambientais e econômicas dos VEs ajudaria a aumentar a demanda e, por sua vez, o interesse das empresas em investir nesse setor em crescimento.

6.10.6. Promover rotas técnicas para introduzir à EM

Promover rotas técnicas para introduzir à EM é um desafio complexo que exige uma abordagem abrangente e integrada. Durante a série de entrevistas, diversos pontos relevantes foram levantados, com o objetivo de encontrar soluções efetivas para essa questão crucial.

Um dos entrevistados ressaltou que a supressão da demanda por deslocamentos é tão importante quanto a própria mobilidade. Isso significa que devemos buscar cidades mais inclusivas, onde as pessoas possam ter acesso a serviços, empregos e lazer em suas próprias comunidades, reduzindo a necessidade de longas viagens diárias. Para isso, é essencial investir na infraestrutura local e incentivar o desenvolvimento equilibrado dos bairros.

No que diz respeito à segurança, tanto no transporte público quanto nas vias, é crucial aumentar a sensação de segurança dos usuários. O compartilhamento de VEs surgiu como uma possível solução a ser considerada. Ao incentivar o uso compartilhado de VEs, reduzimos a quantidade de veículos nas vias, diminuimos os congestionamentos e promovemos uma forma mais sustentável de mobilidade.

Outro aspecto importante é a necessidade de mais espaço para a mobilidade ativa, como ciclovias e calçadas amplas para pedestres. Ao investir em infraestrutura ciclo viária de qualidade e em melhorias nas calçadas, incentivamos o uso de meios de transporte não motorizados, como bicicletas e caminhadas, reduzindo o congestionamento e a poluição do ar.

Além disso, é imprescindível que haja um planejamento cuidadoso, com a incorporação de novas tecnologias, especialmente voltadas para a mobilidade elétrica. A transição para VEs é fundamental para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e diminuir as emissões de GEE. Nesse sentido, é necessário oferecer incentivos tanto para as cidades quanto para os estados, visando à adoção de tecnologias sustentáveis e à construção de uma infraestrutura adequada, como postos de recarga.

No contexto do transporte público, é fundamental que ele seja considerado um protagonista na transição energética. Por isso, é importante oferecer subsídios na tarifa, a fim de incentivar a utilização desse meio de transporte, tornando-o mais acessível e atraente para a população. Além disso, a interligação das centralidades nos centros urbanos deve ser uma prioridade no planejamento do transporte público, visando aprimorar sua capacidade e proporcionar uma rede eficiente que atenda às necessidades dos usuários.

6.10.7. Incentivos as oportunidades ambientais para educação e mobilidade urbana

Uma das entrevistadas colocou que a Estratégia Nacional de Eletromobilidade deve ser validada levando em consideração os requisitos de sustentabilidade da B3, a bolsa de valores brasileira. É imprescindível que haja incentivos para a produção de energia elétrica proveniente de biocombustíveis ou hidrogênio. Tanto o etanol quanto o biodiesel são essenciais nessa transição energética, pois contribuem para reduzir as emissões de carbono. Além disso, é necessário dar ênfase ao desenvolvimento do hidrogênio de baixo carbono, uma vez que ele desempenhará um papel importante na matriz energética brasileira.

O meio ambiente é um elemento essencial nessa discussão, e o que impulsiona as ações são as narrativas. A conscientização sobre a importância de preservar e proteger o meio ambiente é fundamental para impulsionar mudanças positivas. A descarbonização da economia é um objetivo crucial, e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) têm desempenhado um papel significativo nessa agenda.

Dessa forma, é necessário estabelecer políticas e incentivos que promovam a utilização de energias limpas e renováveis no setor de transporte, como a eletrificação dos veículos e o

investimento em fontes de energia sustentáveis, como os biocombustíveis e o hidrogênio verde. Essas medidas contribuirão para a redução das emissões de gases de efeito estufa, a melhoria da qualidade do ar e o avanço em direção a um futuro mais sustentável. Ao adotar a Estratégia Nacional de Eletromobilidade em conformidade com os requisitos de sustentabilidade, o Brasil poderá fortalecer sua posição como líder na transição para uma economia de baixo carbono, contribuindo para o bem-estar do planeta e das futuras gerações.

7. CONCLUSÃO

7.1. Objetivos atingidos

Este trabalho utilizou a Metodologia Q associada à GT para processar percepções, atitudes e opiniões de 61 especialistas sobre as oportunidades e desafios da EM no Brasil. Segundo (MORTON; ANABLE; NELSON, 2016), atitudes têm poder preditivo superior em relação a análises exclusivamente socioeconômicas, permitindo compreender melhor fenômenos complexos, como a transição energética na mobilidade.

Inicialmente, foram coletadas 856 afirmações em 37 horas de entrevistas, com amostra selecionada pela técnica de *snowball sampling*. As declarações foram codificadas no *software* Atlas Ti Cloud, resultando em 28 *statements* utilizados no *Q-sort*, posteriormente analisados no *software* KADE. Sete fatores principais foram identificados, explicando 52% da variância nas respostas. Entre esses fatores, destacou-se o consenso sobre a insuficiência das regulamentações e políticas governamentais para a EM no Brasil, identificado no Fator 1 (visão ampla em favor da EM).

Entre os fatores analisados, destacou-se o consenso sobre a insuficiência das regulamentações e políticas governamentais para a EM no Brasil, identificado no Fator 1 (visão ampla em favor da EM). Em contrapartida, houve grande discordância quanto à ideia de que a hibridização seria um estágio inicial inevitável da EM. Esse cenário é ilustrado por atrasos regulatórios como o ocorrido recentemente (18/12/2024) na Câmara Municipal de São Paulo, que aprovou, em segunda votação, um projeto de lei alterando o prazo para a cidade zerar as emissões de gases de efeito estufa, agora previsto para 2038.

O texto, de autoria do presidente da Câmara, enfrentou críticas significativas após a primeira votação, pois inicialmente propunha estender o prazo para a frota de ônibus ser 100% elétrica até 2054, flexibilizando a proibição de veículos a diesel estabelecida em 2022. Apesar das alterações na segunda votação, que reduziram o prazo e incluíram ações para as empresas responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica e gás no projeto de eletrificação, o texto permite que até 50% da frota de ônibus seja movida a diesel temporariamente.

Esses ajustes evidenciam as dificuldades de implementação prática e a resistência de alguns setores às metas ambientais mais ambiciosas, além de apontarem para a necessidade urgente de maior alinhamento entre políticas públicas e objetivos sustentáveis. A demora na adoção de medidas claras e consistentes compromete a transição energética e reforça a

percepção de que avanços regulatórios em prol da EM ainda enfrentam barreiras significativas no Brasil.

Embora a ideia de que a hibridização seja um estágio inicial inevitável da EM tenha gerado grande discordância entre os respondentes, outros estudos, como o de (GAUTO *et al.*, 2023), oferecem uma visão distinta, sugerindo que os veículos híbridos (HEV e PHEV) apresentam vantagens significativas em termos de emissões de GEE quando comparados a veículos totalmente elétricos (BEV). Esses autores destacam que, no contexto brasileiro, onde biocombustíveis sustentáveis, como etanol e biometano, estão disponíveis, os híbridos podem superar os BEVs em emissões de ciclo de vida, considerando fatores como a fabricação de baterias, infraestrutura de recarga e incertezas sobre a reciclagem de baterias.

No entanto, apesar das vantagens teóricas, a hibridização pode funcionar como um fator de atraso no processo de eletrificação. Veículos híbridos apresentam custos de aquisição (CAPEX) comparáveis ou até superiores aos dos veículos totalmente elétricos (BEVs) e demandam uma manutenção mais onerosa devido ao grande número de peças móveis associadas à combinação de MCIs e elétricos. Além disso, esses veículos perpetuam o uso de MCIs, ainda que de forma reduzida, o que pode retardar a transição para uma frota totalmente elétrica. Essa dinâmica compromete o potencial de descarbonização de longo prazo, especialmente em um cenário onde as tecnologias de baterias estão em rápida evolução. Assim, embora a hibridização possa oferecer soluções práticas em contextos específicos, é fundamental que as políticas públicas a considerem apenas como uma etapa transitória, assegurando que ela não se torne um objetivo final, mas sim um passo rumo a uma eletrificação total e sustentável.

A decisão recente (10/12/2024) da Assembleia Legislativa de São Paulo de aprovar a isenção de IPVA para veículos híbridos flex, produzidos no estado, mas excluir veículos totalmente elétricos (BEVs) que não emitem poluentes e são fabricados em outros estados, como a Bahia, gerou debates acalorados. Embora o incentivo aos híbridos flex seja justificado pela criação de empregos e pelo estímulo à produção local, especialmente com investimentos anunciados por montadoras no estado, a medida foi criticada por priorizar uma tecnologia que ainda utiliza MCIs e emite carbono, ainda que em menor escala. Deputados contrários à proposta destacaram que a exclusão dos BEVs vai na contramão das tendências globais de descarbonização e eletrificação da frota, limitando avanços em saúde pública e na transição para uma matriz energética mais limpa. A medida reflete um equilíbrio delicado entre incentivos à economia estadual e os desafios ambientais e tecnológicos que envolvem a mobilidade sustentável no Brasil.

Embora o setor privado, governo e academia tenham sido representados, nenhum grupo se destacou de forma clara em relação aos fatores. No entanto, o Fator 2 (requalificação de Recursos Humanos) evidenciou preocupações do setor privado com a adaptação de seus recursos humanos, enquanto outros fatores, como desenvolvimento de tecnologias de propulsão (Fator 3), melhoria da mobilidade urbana (Fator 5) e oportunidade ambiental para educação e mobilidade urbana (Fator 7), também apresentaram particularidades relevantes. Ainda assim, recomenda-se novas pesquisas para fortalecer as conexões entre esses fatores e seus respectivos grupos de interesse.

O Fator 4 (Custos dos VEs) destacou a percepção de que os custos associados aos VEs, em particular os relacionados às baterias, são mais críticos do que a expansão de novas infraestruturas ou oportunidades proporcionadas por esses veículos. Isso reflete a importância dos investimentos em desenvolvimento tecnológico, que visam reduzir o preço das baterias e, conseqüentemente, dos próprios veículos, tornando-os mais acessíveis ao consumidor final.

Por outro lado, o Fator 6 (Rotas Técnicas para Introduzir a Eletromobilidade) evidenciou que a introdução bem-sucedida dos VEs no Brasil dependerá de estratégias técnicas robustas, incluindo a presença inicial de veículos híbridos, a criação de uma infraestrutura de recarga adequada e o desenvolvimento de baterias mais eficientes e duráveis.

Esses dois fatores são fundamentais para garantir a viabilidade econômica e técnica da EM no país, reforçando a necessidade de uma abordagem integrada que contemple tanto a redução de custos quanto a superação de barreiras tecnológicas e de infraestrutura.

Além disso, foi proposto e validado um framework nacional de EM, considerando as categorias de tecnologia, políticas públicas, matriz energética, cadeia produtiva e educação. Essas categorias foram integradas aos sete fatores estratégicos, sugerindo que possam constituir eixos fundamentais de uma Estratégia Nacional para Eletromobilidade no Brasil.

Durante o período de 21 de setembro a 16 de dezembro de 2022, foram realizadas 13 entrevistas com 14 especialistas, incluindo membros da Comissão de Ciência e Tecnologia da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME) e participantes da 7ª Mostra Base Industrial de Defesa em Brasília. As entrevistas corroboraram os desafios tecnológicos e não tecnológicos previamente discutidos na literatura, como:

Desafios Tecnológicos:

- **Ansiedade de alcance:** A preocupação com a autonomia dos veículos VEs limita a adoção, destacando a necessidade de avanços em baterias.
- **Infraestrutura de recarga:** A expansão de eletropostos é essencial para viagens longas e a decisão de compra de VEs.
- **Tecnologia de baterias:** Embora em rápida evolução, as baterias ainda apresentam custos elevados e desempenho inferior aos motores de combustão interna (MCI).

Desafios Não Tecnológicos:

- **Comportamento do consumidor:** A resistência dos consumidores à mudança de hábitos e a falta de familiaridade com a tecnologia limitam a adoção dos VEs.
- **Políticas públicas e regulamentação:** A ausência de incentivos claros ou regulamentações adequadas dificulta o crescimento do mercado de VEs.
- **Modelos de negócio:** A transição para VEs exige mudanças estruturais na indústria automobilística, que tradicionalmente opera com motores de combustão.

No contexto da Missão 3 da Nova Indústria Brasil (NIB), que busca ampliar a participação da produção nacional na cadeia de transporte público sustentável, e do Programa MOVER — focado na transição para uma mobilidade mais verde e eficiente —, torna-se essencial promover ações que enderecem desafios críticos. Entre esses desafios estão firmados a qualificação de mão de obra, a ampliação da oferta de insumos nacionais específicos e a equalização tributária para fomentar a construção industrializada de soluções de mobilidade. Além disso, a expansão da cadeia produtiva de baterias, a redução da dependência de importação de componentes estratégicos e a agregação de valor sobre recursos minerais nacionais são áreas prioritárias para fortalecer a indústria da EM. Alinhadas com essas metas, as iniciativas de financiamento, regulação e contratações públicas visam acelerar o desenvolvimento e a adoção de sistemas de propulsão elétrica, híbrido-elétrica e a biocombustíveis, integrando soluções de baixo carbono e tecnologias digitais que reduzam o tempo de deslocamento e as emissões no transporte público e privado.

No capítulo 4, propusemos políticas públicas para a transição da EM no Brasil, como incentivos fiscais para a aquisição de VEs, investimentos em infraestrutura de carregamento, subsídios para eletrificação do transporte público e campanhas educativas sobre os benefícios da eletromobilidade. Tais estratégias podem ser adaptadas para outros países emergentes, como Argentina, México e Tailândia, que compartilham desafios similares.

Além disso, identificamos que a mobilidade urbana no Brasil está intrinsecamente relacionada à crise climática e ao aquecimento global. Nossos especialistas apontaram oportunidades como a micromobilidade, a introdução de ônibus elétricos e a reestruturação do espaço urbano. No entanto, nenhuma dessas soluções foi fortemente associada aos sete fatores identificados, reforçando a necessidade de políticas públicas integradas e baseadas em evidências.

Por fim, a transição para a EM no Brasil exige não apenas inovações tecnológicas, mas também mudanças culturais e comportamentais. Em um país continental, onde o automóvel é um símbolo de status e mobilidade, é fundamental que políticas públicas sejam implementadas para educar a população e promover o uso sustentável dos VEs. A adoção bem-sucedida da EM contribuirá para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o fortalecimento de uma economia mais sustentável.

Em 2019, as emissões globais de transporte cresceram menos de 0,5%, um avanço significativo comparado à média anual de 1,9% desde 2000. Isso se deve ao aumento da eficiência, da eletrificação e do uso de biocombustíveis. Ainda assim, o transporte representa 24% das emissões diretas de CO₂ provenientes da queima de combustíveis, com os veículos rodoviários responsáveis por três quartos dessas emissões (IEA, 2020a). Portanto, superar os desafios tecnológicos e regulatórios será crucial para a descarbonização do transporte e a integração dos VEs na matriz energética brasileira e global.

Este trabalho usou a metodologia Q associada à GT para processar percepções, atitudes e opiniões distintas referentes às oportunidades e desafios que a eletromobilidade apresenta no Brasil. Segundo (MORTON; ANABLE; NELSON, 2016) isso ocorre porque os construtos de atitude oferecem poder preditivo e de compreensão adicional sobre a análise de características exclusivamente socioeconômicas. As 856 afirmações iniciais foram coletadas de 61 especialistas utilizando-se a técnica de *snowball sampling* e que foram fruto de 37 horas de gravação. Utilizando-se a ferramenta do Atlas Ti Cloud para codificar 28 declarações (*statements*) que fizeram parte do Q-sort utilizando-se da codificação aberta.

Trinta e oito especialistas destes 61, identificados entre setor privado, governo e academia, responderam a um questionário online utilizando-se do programa Q Method Software fornecendo seus insights. Seguindo uma abordagem sistemática e processando as informações coletadas das entrevistas com softwares apropriados, a análise identificou os principais pontos de vista que correspondem às decisões políticas relevantes.

Sete fatores foram identificados pela análise quantitativa executada a partir das opiniões dos respondentes pela fase quantitativa da metodologia Q, utilizando-se o software KADE, e que tiveram uma variância de 52%. A declaração de maior concordância foi que as regulamentações, leis e normas para a EM são ainda insuficientes e isso está em sintonia com o Fator 1 de políticas governamentais, que ainda, no Brasil, não são claras e comprometidas com a eletrificação. A maior discordância entre os respondentes foi na declaração da hibridização como estágio inicial da EM. Identificamos assim, os fatores comuns da concordância e discordância dessas opiniões dadas pelos especialistas.

Buscou-se identificar as diferentes opiniões dos respondentes do setor privado, governo e academia, mas não houve fator que se destacasse com clareza. Apesar disto, o Fator 2 de requalificação da mão de obra, teve identificado pelo menos três pertencentes ao componente “setor privado”, demonstrando uma preocupação do setor privado com os requisitos dos seus recursos humanos. Essa identificação de respondentes e fatores ocorreu também com outros fatores: políticas governamentais (1), desenvolvimento tecnológico (3), infraestrutura (5) e meio ambiente (7), entretanto, novas pesquisas são recomendadas para identificarmos esta conexão. Some-se a isso, a falta de identificação de 4 respondentes dos 38 que responderam ao questionário online não invalidou a pesquisa.

Este trabalho buscou também validar um framework da EM no Brasil utilizando a GT e que adicionalmente foi validada por uma pesquisa com 34 respondentes, dos 38 entrevistados, sobre os principais fatores categorizados.

As categorias inicialmente propostas – tecnologia, ações governamentais, matriz energética, cadeia produtiva e educação – foram avaliadas em suas interligações com os sete fatores identificados na metodologia Q. Assim os sete fatores podem ser vistos como eixos estratégicos em uma proposta de Estratégia Nacional para Eletromobilidade.

De forma a validarmos as ações inicialmente propostas fizemos 13 entrevistas entre os dias 21 de setembro de 2022 e 16 de dezembro de 2022 com 14 pessoas que comentaram os pontos inicialmente propostos. Essas pessoas foram inicialmente escolhidas por meio de um contato da Comissão de Ciência e Tecnologia da Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), um contato do orientador desse trabalho e de um contato executado durante a 7ª MOSTRA Base Industrial de Defesa, feira ocorrida na cidade de Brasília.

De forma a consolidar os objetivos específicos inicialmente propostos vimos no capítulo 2, de revisão da literatura, que a adoção da eletromobilidade enfrenta desafios tecnológicos e

não tecnológicos, amplamente discutidos na literatura científica e, exigem uma abordagem multifacetada para superá-los. Aqui estão alguns temas comuns encontrados e exemplos de desafios dentro de cada categoria:

Desafios tecnológicos:

- **Ansiedade de alcance:** Um dos maiores desafios na adoção da eletromobilidade é a ansiedade de alcance (*range anxiety*). Os motoristas estão preocupados com a distância que podem percorrer com uma única carga, que é limitada pela capacidade da bateria. Isso foi identificado como uma grande barreira para a adoção de VEs.
- **Infraestrutura de recarga:** A implantação da infraestrutura de recarga, por meio dos carregadores ou eletropostos, é outro desafio tecnológico. A disponibilidade de estações de carregamento é necessária para que os VEs percorram longas distâncias e pode ser um fator crítico na decisão de compra de um VE.
- **Tecnologia da bateria:** a tecnologia da bateria está avançando rapidamente, mas o custo de produção ainda é alto e o desempenho ainda não está no mesmo nível dos ICE tradicionais. Melhorar o desempenho da bateria, reduzir peso e custos são importantes para promover a adoção da EM.

Desafios não tecnológicos:

- **Comportamento do consumidor:** O comportamento do consumidor é um fator crítico que afeta a adoção da EM. Os consumidores podem não estar dispostos a adotar novas tecnologias, especialmente se não estiverem familiarizados com elas. Além disso, os consumidores podem ser resistentes a mudar seus hábitos e preferências de mobilidade.
- **Política e regulamentação:** A política e a regulamentação desempenham um papel crítico na adoção da EM. Os governos podem fornecer incentivos para encorajar a adoção de VEs, como créditos fiscais e abatimentos. No entanto, políticas e regulamentações também podem ser uma barreira à adoção se não forem favoráveis ao crescimento do mercado de VEs.
- **Modelos de negócios:** A estrutura de mercado por meio dos modelos de negócios é outro desafio não tecnológico para a adoção da EM. A indústria automobilística é dominada pela tecnologia dos MCIs, que têm sido o padrão por muitos anos. A transição energética na mobilidade exigirá mudanças significativas na estrutura do mercado e nos seus modelos de negócios, que podem ser lentas e difíceis de alcançar.

Vimos, no capítulo 2, que ainda existem várias lacunas de pesquisa que precisam ser abordadas para avançar ainda mais as tecnologias de transição energética nos transportes. Por exemplo, um dos maiores desafios enfrentados pela EM é o desenvolvimento de baterias de alto desempenho, duráveis e baratas. As tecnologias atuais de baterias ainda se encontram em desenvolvimento pois possuem limitações em termos de densidade de energia, tempo de carregamento e vida útil, o que pode limitar o alcance e a praticidade dos VEs.

Igualmente, a infraestrutura de carregadores elétricos atual ainda é limitada e há necessidade de mais pesquisas sobre como expandi-la de maneira econômica e sustentável. Outro aspecto que foi destacado neste trabalho que embora os VEs tenham o potencial de reduzir as emissões de carbono, ainda há preocupações sobre o impacto ambiental da produção e descarte de baterias. Mais pesquisas são necessárias para desenvolver processos de produção e reciclagem mais sustentáveis e ecologicamente corretos. À medida que os VEs se tornam mais comuns, haverá um aumento da demanda por eletricidade, o que terá implicações na rede elétrica. Mais pesquisas são necessárias para entender o impacto do carregamento na rede e desenvolver estratégias para integrar VEs à rede de maneira eficiente e sustentável.

O sucesso da EM depende, em última instância, da adoção do consumidor. Ainda há falta de compreensão entre os consumidores sobre os benefícios e limitações dos VEs, e mais pesquisas são necessárias para identificar e abordar os fatores que influenciam a adoção do consumidor.

No capítulo 4 buscamos estabelecer elementos direcionadores de políticas públicas por meio da proposição de um framework de recomendações de uma estratégia de EM que levou em conta o estado da arte tecnológico atual e que pode ser extrapolado para países periféricos com uma indústria automobilística como Argentina e México. Várias estratégias políticas de EM que podem ser utilizadas por diversos países além do Brasil.

Os governos podem oferecer créditos fiscais ou isenções, abatimentos ou outros incentivos financeiros para a compra de VEs, preferencialmente induzindo o transporte público, para incentivar as pessoas a utilizá-los e despoluir os centros urbanos. Esses podem investir no desenvolvimento de uma rede de estações de carregamento, estações de troca de baterias e outras infraestruturas de apoio para incentivar a adoção de VEs.

Deve-se ainda promover o uso de VEs no transporte público fornecendo subsídios ou incentivos fiscais para a compra de ônibus ou trens elétricos, principalmente, nos grandes centros urbanos. Os governos podem e devem implementar regulamentações e normas que

promovam o desenvolvimento e a adoção de VEs. Por exemplo, eles podem exigir o uso de VEs para certas frotas governamentais ou estabelecer padrões de emissões que incentivem o seu uso. A execução de campanhas educativas para o público sobre os benefícios dos VEs pode ajudar a aumentar a demanda e criar um ambiente mais favorável para sua adoção.

Estas estratégias podem ser adaptadas às necessidades e circunstâncias específicas de cada país. Por exemplo, alguns países podem se concentrar na promoção de motocicletas ou bicicletas elétricas como um meio de transporte acessível e eficiente, enquanto outros podem priorizar a eletrificação do transporte público ou o desenvolvimento de uma infraestrutura de carregamento robusta.

Por fim, existem diversos fatores que alavancam essa transição para o cruzamento do abismo da EM que indica ser definitiva e, que buscam atingir resultados socioeconômicos para uma economia mais sustentável, justificada por uma necessidade de menores emissões de GEE. Esta mudança já é uma realidade e é necessário o apoio de políticas governamentais que possam impulsionar os fatores de forma beneficiar a sociedade.

7.2. Limitações e trabalhos futuros

A pesquisa tem algumas limitações. A principal questão está relacionada à amostra de entrevistados. A eletromobilidade envolve muitos atores, tecnologias, indústrias, elementos de análise, impactos sociais, questões educacionais, treinamento industrial, estruturas de vendas e modelos de negócios. Incluir atores de todos esses assuntos tornaria a amostra muito grande, impactando o trabalho analítico. Nossa amostra cobriu parcialmente a indústria de autopeças, fabricantes de veículos leves, startups de mobilidade, pesquisadores de mobilidade social e organizações não-governamentais, e esses atores podem abordar o fenômeno da eletromobilidade a partir de outras perspectivas. Grupos focais poderiam ampliar nosso framework metodológico, algumas rodadas do método Delphi, ou outros arranjos metodológicos para encontrar consensos. A metodologia Q não permite que as pessoas pesquisadas interajam e problematizem os pensamentos de cada respondente.

Dada a crescente importância da EM para o desenvolvimento sustentável, pesquisas futuras devem se concentrar em como os governos de países produtores emergentes podem sustentar suas indústrias automotivas diante da competição de empresas multinacionais que buscam maximizar retornos sobre investimentos. Embora a demanda por VEs ainda seja baixa nesses países, é fundamental que políticas públicas sejam voltadas para a capacitação profissional em antecipação à demanda futura. Essa capacitação pode ser viabilizada por meio

da colaboração entre órgãos técnicos, universidades, escolas técnicas e instituições privadas, criando uma força de trabalho preparada para os avanços tecnológicos e desafios da indústria automotiva emergente.

Uma abordagem mais abrangente deve considerar a integração de diferentes *stakeholders*, como fabricantes de autopeças, *startups* de mobilidade e ONGs, visando uma compreensão mais profunda do ecossistema de EM. Pesquisas com uma amostra mais diversificada e representativa podem capturar as perspectivas de atores menos evidentes na cadeia de valor, permitindo um mapeamento detalhado das inovações tecnológicas e dos desafios sociais associados. Esse tipo de análise é crucial para garantir que as soluções propostas sejam inclusivas e sustentáveis, como destacam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 e 11, que tratam da energia limpa e acessível e das cidades sustentáveis (ALAO; POPOOLA; AYODELE, 2022).

Além disso, as futuras pesquisas devem abordar as limitações tecnológicas que os países emergentes enfrentam devido aos investimentos limitados em P&D. Investigações sobre como esses países podem interagir tecnologicamente com o novo cenário automotivo são essenciais. Parcerias internacionais, focadas na padronização, segurança e redução de custos, são cruciais para ampliar o acesso às tecnologias de ponta. Estudos que examinem as vantagens comparativas desses países nas cadeias de valor industrial podem identificar oportunidades estratégicas para inserção competitiva na transição energética global.

Outro aspecto relevante é o impacto da penetração de VEs em circuitos de distribuição de energia, especialmente em cenários de alta demanda. Desenvolver estratégias para otimizar a infraestrutura de recarga durante emergências é uma prioridade (NAZARI; BORRELLI; STEFANOPOULOU, 2021). Também é importante explorar a equidade na distribuição de incentivos fiscais e subsídios para garantir que as políticas públicas não aprofundem as desigualdades sociais. A utilização de *big data* e métodos de clusterização pode oferecer insights valiosos sobre os padrões de comportamento dos usuários, contribuindo para uma gestão mais eficiente e adaptativa das redes de transporte e energia.

A aceitação dos VEs pelos consumidores deve ser estudada sob a ótica da evolução da consciência ecológica e das percepções tecnológicas. Essa relação é fundamental para moldar o comportamento do consumidor e acelerar a transição para a mobilidade elétrica. Pesquisas comparativas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento podem fornecer *insights*

práticos para promover a aceitação global dos VEs, considerando as diferenças culturais, econômicas e sociais (HAGHANI *et al.*, 2023).

Por fim, os desafios de mobilidade em cidades superpovoadas oferecem uma oportunidade para que as administrações municipais se posicionem como agentes ativos da transição energética. Modelos preditivos e uma gestão robusta da rede elétrica, como sugerido por (BOULAKHBAR *et al.*, 2022), são essenciais para mitigar os impactos da adoção de VEs e orientar a localização estratégica da infraestrutura de recarga. Políticas baseadas nesses modelos podem garantir uma distribuição de energia confiável e promover a integração dos VEs de forma sustentável nas cidades emergentes. Essa abordagem integrada tem o potencial de transformar o cenário de mobilidade urbana, tornando-o mais inclusivo, sustentável e tecnologicamente avançado.

Essas direções de pesquisa são fundamentais para criar um ambiente favorável à EM nos países emergentes, abordando não apenas os aspectos tecnológicos e econômicos, mas também os desafios sociais e ambientais associados à transição para um sistema de transporte mais limpo e eficiente.

As limitações deste trabalho estão interligadas ao público pesquisado de especialistas brasileiros em EM e futuros trabalhos podem aprofundar cada um dos fatores aqui identificados. Entender melhor os fatores podem ajudar o país a cruzar o abismo da EM de forma mais fácil. Não houve uma diferença clara de opiniões entre os especialistas. Assim, estudos com um público maior podem revelar visões diferentes entre estes públicos, quando a diluição do conhecimento no tema torna o tema mais árido.

Futuras pesquisas precisam esclarecer melhor a discordância entre os respondentes de que a hibridização é o estágio inicial da EM no Brasil. Atualmente são os veículos híbridos que possuem o maior número de licenciamentos em relação aos BEVs. Infere-se que o consumidor conhecendo uma infraestrutura de carregamento prefira a autonomia dos HEVs ou PHEVs, mas isso deve ser mais bem entendido.

Recomenda-se que possíveis estudos futuros possam aprofundar:

- a. **Resultados e impactos do Programa Rota 2030/MOVER na transição energética**
 - Avaliação dos avanços na eletrificação da frota nacional e no desenvolvimento de tecnologias de propulsão alternativa (híbridos, elétricos e biocombustíveis).

- Impacto das metas do Rota 2030/MOVER na descarbonização do setor automotivo e na competitividade da indústria nacional.
 - Desafios regulatórios e infraestrutura necessária para expandir a adoção de veículos elétricos no Brasil.
- b. **Impacto e eficácia das políticas de incentivo à eletromobilidade**
- Comparação da eficácia entre incentivos fiscais (redução de IPI, ICMS, IPVA) e incentivos operacionais (estacionamento gratuito, isenção de pedágio, acesso a faixas exclusivas).
 - Estudos de caso internacionais sobre políticas de incentivo bem-sucedidas e sua aplicabilidade ao contexto brasileiro.
 - Análise custo-benefício das renúncias fiscais e seus impactos na arrecadação versus benefícios ambientais e econômicos.
- c. **Capacitação e requalificação profissional para a transição energética**
- Mapeamento das novas competências e perfis profissionais necessários para a EM, incluindo formação técnica e acadêmica.
 - Programas de requalificação para trabalhadores do setor automotivo tradicional em tecnologias emergentes, como baterias, software embarcado e manufatura avançada.
 - Políticas públicas e iniciativas privadas para a formação de mão de obra especializada no Brasil.
- d. **Uso e compartilhamento de veículos elétricos e e-bikes**
- Análise da viabilidade econômica e ambiental de modelos de mobilidade compartilhada no Brasil.
 - O impacto da digitalização e das plataformas de mobilidade sobre a adoção de veículos elétricos compartilhados.
 - Experiências internacionais e desafios regulatórios para a expansão desse modelo no Brasil.
- e. **Comportamento dos motoristas em relação às oportunidades de recarga**

- Padrões de uso e preferências dos motoristas para recarga (residencial, pública, rápida, ultrarrápida).
- Impacto da infraestrutura de recarga na adoção da eletromobilidade e na eficiência da rede elétrica.
- Modelos de tarifação dinâmica e incentivos para otimizar o uso da rede elétrica e reduzir picos de demanda.

f. **Uso de créditos de carbono na eletromobilidade**

- Estudo sobre a viabilidade de implementação de um programa similar ao *Low Carbon Fuel Standard (LCFS)* da Califórnia no Brasil.
- Impactos econômicos e ambientais da monetização de emissões evitadas por frotas elétricas e híbridas.
- Modelos de precificação de carbono e sua influência na transição energética do setor de transportes.

g. **Efeitos colaterais da eletromobilidade com a tecnologia atual de baterias**

- Impactos ambientais e riscos à saúde associados à mineração e ao descarte de materiais como lítio, cobalto e níquel.
- Redução do ciclo de vida dos veículos elétricos devido a degradação das baterias e desafios no reaproveitamento de componentes.
- Soluções tecnológicas para mitigar impactos, como economia circular, reciclagem avançada e desenvolvimento de baterias de nova geração (estado sólido, sódio-íon etc.).

As limitações desse trabalho estão relacionadas as narrativas que devem vencer as agendas político-econômicas, pois o país é carente em diversos campos e é necessário se escalar na agenda de forma a priorizarmos as ações aqui descritas, que são concorrentes com outras ações igualmente importantes. Este é um processo que pode demorar dependendo das intensidades que isso é impulsiona a agenda político-econômica do país.

As limitações deste trabalho estão relacionadas, também, ao tipo de desenvolvimento nacional-dependente da economia brasileira que se caracteriza por uma taxa de crescimento estagnada e que dificulta a transição à EM (BRESSER-PEREIRA, 2019). A pesquisa buscou um público limitado de especialistas, mas não estendeu a outros stakeholders importantes como

consumidores, distribuidores e prestadores de serviços, que podem alterar os principais fatores encontrados.

Recomenda-se que estudos futuros possam se debruçar mais atentamente para cada eixo estratégico, podendo aprofundá-los em conhecimento de experiências internacionais, bem como das primeiras experiências nacionais em curso. A EM é uma realidade e será mais fácil reconhecermos sua importância e acelerarmos o cruzamento desse abismo para aproveitarmos os benefícios que essa nova realidade trará ao país.

Bibliografia

- ABDI. **Cidades Inteligentes: Oportunidades e Desafios para o Estímulo ao Setor no Brasil**. Brasília-DF: [s. n.], 2018. Disponível em: http://inteligencia.abdi.com.br/wp-content/uploads/2017/08/2018-09-11_ABDI_relatorio_5_cidades-inteligentes-oportunidades-e-desafios-para-o-estimulo-ao-setor-no-brasil_WEB.pdf.
- ABVE. **Eletrificados fecham 2022 com novo recorde**. [S. l.], 2023.
- ACEA. The Automobile Industry_Pocket Guide 2022-2023. **European Automobile Manufacturers' Association (ACEA)**, [s. l.], p. 106, 2023.
- AGÊNCIA MINAS GERAIS. **Empresa vai investir R \$ 25 bi e gerar 10 mil empregos diretos em Nova Lima**. [S. l.], 2021.
- ALAO, Moshood Akanni; POPOOLA, Olawale Mohammed; AYODELE, Temitope Raphael. Waste-to-energy nexus: An overview of technologies and implementation for sustainable development. **Cleaner Energy Systems**, [s. l.], v. 3, n. September 2022, p. 100034, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cles.2022.100034>
- ALBATAYNEH, Aiman *et al.* Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles. **Environmental and Climate Technologies**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 669–680, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0041>
- ALESP. **Veículos híbridos de SP terão isenção do IPVA por dois anos ; confira regras aprovadas pela Alesp**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/noticia/?10/12/2024/veiculos-hibridos-de-sp-terao-isencao-do-ipva-por-dois-anos--confira-regras-aprovadas-pela-alesp>. Acesso em: 2 fev. 2025.
- ALTENBURG, Tilman; SCHAMP, Eike W.; CHAUDHARY, Ankur. The emergence of electromobility: Comparing technological pathways in France, Germany, China and India. **Science and Public Policy**, [s. l.], v. 43, n. 4, p. 464–475, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/scipol/scv054>
- AMARO, Mariana. **Sigma capta US \$ 100 milhões para produção de lítio no Brasil**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/negocios/sigma-anuncia-captacao-de-us-100-milhoes-para-producao-de-litio-no-brasil/>. Acesso em: 30 dez. 2022.
- AMATUCCI, Marcos; BERNARDES, Roberto Carlos. Formação de competências para o desenvolvimento de produtos em subsidiárias brasileiras de montadoras de veículos. **Production**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 359–375, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-65132009000200011>
- ANBIMA. **Guia de Operacionalização do CBIO**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.anbima.com.br/data/files/2B/23/E9/0F/FEF447101699D3471B2BA2A8/Guia de Operacionalizacao do CBIO.pdf>.
- ANDERSSON, Öivind; BÖRJESSON, Pål. The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications. **Applied Energy**, [s. l.], v. 289, n. January, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116621>

ANDRADE, Jorge Vleberton Bessa de *et al.* Constitutional aspects of distributed generation policies for promoting Brazilian economic development. **Energy Policy**, [s. l.], v. 143, n. July 2019, p. 111555, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111555>

ANFAVEA. **Licenciamento total de automóveis e comerciais leves por combustível**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fanfavea.com.br%2Fdocs%2Fsiteautoveiculos2024.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK>. Acesso em: 27 nov. 2024.

ANP. **Mistura de biodiesel ao diesel passa a ser de 13% a partir de hoje (1/3)**. [S. l.], 2021. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/mistura-de-biodiesel-ao-diesel-passa-a-ser-de-13-a-partir-de-hoje-1-3. Acesso em: 21 jul. 2021.

ARAÚJO, Kathleen. The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities. **Energy Research and Social Science**, [s. l.], v. 1, p. 112–121, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.03.002>

ARRIBAS-IBAR, M.; NYLUND, P.A.; BREM, A. The risk of dissolution of sustainable innovation ecosystems in times of crisis: The electric vehicle during the covid-19 pandemic. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1–14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13031319>

ASSIRATI, Ben. **These countries are leading the charge to clean energy**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2019/02/these-countries-are-leading-the-charge-to-clean-energy/>

BADIN, F. *et al.* Hybrid electric vehicles energy consumption decrease according to drive train architecture, energy management and vehicle use. **IET Conference Publications**, [s. l.], n. 526, p. 213–223, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/cp:20060610>

BAI, Xuemei *et al.* Six research priorities for cities and climate change. **Nature**, [s. l.], v. 555, n. 7694, p. 23–25, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/d41586-018-02409-z>

BARASSA, Edgar *et al.* **2º Anuário da Mobilidade Elétrica** Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica. Brasília-DF: [s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.pnme.org.br/biblioteca/2o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica-pnme/>.

BARASSA, Edgar. **A Construção de uma Agenda para a Eletromobilidade no Brasil: Competências Tecnológicas e Governança**. 242p. f. 2019. - University of Campinas, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2019.1094309>

BARASSA, Edgar; CRUZ, Robson Ferreira da; MORAES, Henrique Botin. **1º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica**. Brasília e Rio de Janeiro, Brasil: [s. n.], 2021.

BARUA, Suborna; NATH, Shobod Deba. The impact of COVID-19 on air pollution: Evidence from global data. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 298, p. 126755, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126755>

BASKARAN, Gracelin; CAHILL, Ben. **Six New BRICS: Implications for Energy Trade**.

[S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.csis.org/analysis/six-new-brics-implications-energy-trade>.

BENVENUTTI, Livia Moraes Marques; RIBEIRO, Arthur Boeing; URIONA, Mauricio. Long term diffusion dynamics of alternative fuel vehicles in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 164, p. 1571–1585, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.051>

BERKELEY, N. *et al.* Assessing the transition towards Battery Electric Vehicles: A Multi-Level Perspective on drivers of, and barriers to, take up. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s. l.], v. 106, p. 320–332, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.10.004>

BERMAN, Jesse D.; EBISU, Keita. Changes in U.S. air pollution during the COVID-19 pandemic. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 739, p. 139864, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139864>

BIKE, Aliança. **Mercado de bicicletas elétricas 2021**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://aliancabike.org.br/wp-content/uploads/docs/2021/04/Boletim-Bike-Eletrica.pdf>.

BODANSKY, Daniel. Climate change: Reversing the past and advancing the future. **AJIL Unbound**, [s. l.], v. 115, p. 80–85, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/aju.2020.89>

BOESCH, Hartmut *et al.* **Monitoring Greenhouses Gases over China Using Space-Based Observations**. [S. l.]: Journal of Geodesy and Geoinformation Science, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.11947/j.JGGS.2020.0402>

BOLWIG, Simon *et al.* Review of modelling energy transitions pathways with application to energy system flexibility. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 101, n. November 2018, p. 440–452, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.019>

BOTIN MORAES, Henrique *et al.* Mapeamento das políticas públicas para a mobilidade elétrica no Brasil (2000-2020): orientação e objetivos analisados numa perspectiva multiescalar. In: , 2021, Lima. **XIX Congresso ALTEC**. Lima: ALTEC, 2021. p. 1–18. Disponível em: <https://repositorio.altecasociacion.org/bitstream/handle/20.500.13048/1940/paper103.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 dez. 2024.

BOUDET, Hilary S. Public perceptions of and responses to new energy technologies. **Nature Energy**, [s. l.], v. 4, n. 6, p. 446–455, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0399-x>

BOULAKHBAR, Mouaad *et al.* A deep learning approach for prediction of electrical vehicle charging stations power demand in regulated electricity markets: The case of Morocco. **Cleaner Energy Systems**, [s. l.], v. 3, n. November, p. 100039, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cles.2022.100039>

BRAGA, Paulo; FRANÇA, Silvia; JUNIOR, Carlos. How big is the lithium market in Brazil? **IMPC 2014 - 27th International Mineral Processing Congress**, [s. l.], 2014.

BRASIL/ANEEL. **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200->

gw.

BRASIL/ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL nº1.000, de 7 de dezembro de 2021**. ANEEL, 2021. p. 6. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>

BRASIL/MDIC. **Presidente sanciona lei do Programa Mover**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/junho/presidente-sanciona-lei-do-programa-mover>. Acesso em: 29 nov. 2024.

BRASIL. **Profissionais do Futuro**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/secretarias/secretaria-de-educacao-profissional/profissionais-do-futuro>. Acesso em: 14 dez. 2022.

BRASIL. **Rota 2030 - Mobilidade e Logística — Português (Brasil)**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/setor-automotivo/rota-2030-mobilidade-e-logistica>.

BRASIL EPE. **Cenários Energéticos. Plano Nacional de Energia 2055. Cenários Energéticos**. Brasília-DF: [s. n.], 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-865/topico-743/PNE_2055_Caderno_Cenários_Energéticos_090125_completo.pdf.

BRASIL MDR. **Guia de eletromobilidade**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/mobilidade-e-servicos-urbanos/Guia_Eletromobilidade.pdf.

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. Modelos de Estado desenvolvimentista. **Revista de Economia**, [s. l.], v. 40, n. 73, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/re.v40i73.69802>

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **The Brundtland Report: “Our Common Future”**. [S. l.: s. n.], 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>.

BUTLER, Luke; YIGITCANLAR, Tan; PAZ, Alexander. **Smart urban mobility innovations: A comprehensive review and evaluation**. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3034596>

CA GOV. **National Low Carbon Fuel Standard**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard/about>. Acesso em: 28 dez. 2022.

CANIËLS, Marjolein C.J.; ROMIJN, Henny A. Strategic niche management: Towards a policy tool for sustainable development. **Technology Analysis and Strategic Management**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 245–266, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537320701711264>

CANO, Zachary P. *et al.* Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets. **Nature Energy**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 279–289, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0108-1>

CANSINO, J.M.; SÁNCHEZ-BRAZA, A.; SANZ-DÍAZ, T. Policy instruments to promote electro-mobility in the EU28: A comprehensive review. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.],

v. 10, n. 7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10072507>

CARLEY, Sanya; KONISKY, David M. The justice and equity implications of the clean energy transition. **Nature Energy**, [s. l.], v. 5, n. 8, p. 569–577, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0641-6>

CARTENÌ, Armando *et al.* Strong sustainability in public transport policies: An e-mobility bus fleet application in sorrento peninsula (Italy). **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 17, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12177033>

CAVALCANTE, Pedro Luiz Costa; PIRES, Roberto Rocha C. **Boletim de Análise Político-Institucional - Governança Pública**. Brasília: [s. n.], 2018.

CEBDS. **O que é o Acordo de Paris?**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/#.YVxSSJrMLIW>. Acesso em: 5 out. 2021.

CHHIKARA, Ritu *et al.* Factors affecting adoption of electric vehicles in India: An exploratory study. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [s. l.], v. 100, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103084>

CHILE. **Estrategia nacional de electromovilidad**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2018/electromovilidad/estrategia_electromovilidad-27dic.pdf.

CLARKE, Ben J.; E. L. OTTO, Friederike; JONES, Richard G. Inventories of extreme weather events and impacts: Implications for loss and damage from and adaptation to climate extremes. **Climate Risk Management**, [s. l.], v. 32, n. October 2020, p. 100285, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100285>

CLIMATE GROUP. Progress and Insights Report. [s. l.], v. 148, n. February, p. 148–162, 2022. Disponível em: [https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/2021-02/EV100 Progress and Insights Report.pdf](https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/2021-02/EV100%20Progress%20and%20Insights%20Report.pdf)

COFFMAN, Makena; BERNSTEIN, Paul; WEE, Sherilyn. Electric vehicles revisited: a review of factors that affect adoption. **Transport Reviews**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 79–93, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1217282>

COLOMBIA. **Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica. Definición de la meta**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Estrategia-Nacional-de-Movilidad-Elctrica-enme-minambiente.pdf>.

CONAMA. **Resolução nº 490, de 16 de novembro de 2018**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058898/do1-2018-11-21-resolucao-n-490-de-16-de-novembro-de-2018-51058604.

CONDE JUSSANI, Ailton; COULTER WRIGHT, James Terence; IBUSUKI, Ugo. Battery global value chain and its technological challenges for electric vehicle mobility. **RAI Revista de Administração e Inovação**, [s. l.], v. 14, p. 333–338, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rai.2017.07.001>

CONSONI, Flávia Luciane *et al.* Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos. **Projeto Sistemas de Propulsão Eficiente – PROMOB-e (Projeto de Cooperação Técnica bilateral entre a Secretaria de Desenvolvimento e Competitividade Industrial – SDCI/MDIC e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ))**, [s. l.], p. 124, 2018. Disponível em: <http://www.promobe.com.br/library/estudo-de-governanca-e-politicas-publicas-para-veiculos-eletricos/>

COOPER, Peter *et al.* Electric Vehicle Mobility-as-a-Service: Exploring the “Tri-Opt” of Novel Private Transport Business Models. **Journal of Urban Technology**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 35–56, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10630732.2018.1553096>

COP24. **What is Electromobility** | IGI Global. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://cop24.gov.pl/news/news-details/news/what-is-electromobility/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

COSTA, Evaldo *et al.* Diffusion of electric vehicles in Brazil from the stakeholders’ perspective. **International Journal of Sustainable Transportation**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1827317>

COSTA RICA. **Plan nacional de Transporte eléctrico 2018-2030**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <http://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/No DE-41579/Version1/PlanTranspElect.pdf>.

COUTINHO, Gabriel Leuzinger (University of Brasília). **Multi-system sustainability transitions in developing countries: a case study of the electric car in Brazil**. 2023. - Universidade de Brasília, Brasil., Brasília, 2023.

CUENCA, Juan Jose; JAMIL, Emad; HAYES, Barry. State of the Art in Energy Communities and Sharing Economy Concepts in the Electricity Sector. **IEEE Transactions on Industry Applications**, [s. l.], v. 57, n. 6, p. 5737–5746, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIA.2021.3114135>

DANISH; ULUCAK, Recep; KHAN, Salah Ud Din. Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 54, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101996>

DANISH; WANG, Zhaohua. Dynamic relationship between tourism, economic growth, and environmental quality. **Journal of Sustainable Tourism**, [s. l.], v. 26, n. 11, p. 1928–1943, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09669582.2018.1526293>

DE ANDRADE GUERRA, José Baltazar Salgueirinho Osório *et al.* Future scenarios and trends in energy generation in Brazil: Supply and demand and mitigation forecasts. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 103, p. 197–210, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.082>

DE FREITAS, Luciano Charlita; KANEKO, Shinji. Ethanol demand under the flex-fuel technology regime in Brazil. **Energy Economics**, [s. l.], v. 33, n. 6, p. 1146–1154, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.03.011>

DE OLIVEIRA GONÇALVES, Felipe *et al.* **Evaluation of the feasibility of ethanol and gasoline in solid oxide fuel cell vehicles in Brazil**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.08.165>

DE SOUSA, Gabriel Carvalho; CASTAÑEDA-AYARZA, Juan Arturo. PESTEL analysis and the macro-environmental factors that influence the development of the electric and hybrid vehicles industry in Brazil. **Case Studies on Transport Policy**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 686–699, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.01.030>

DEBE, Mark K. **Electrocatalyst approaches and challenges for automotive fuel cells**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature11115>

DEHGHANI-SANIJ, A. R. *et al.* Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 104, n. January, p. 192–208, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.023>

DESMONT, Kevin. **Electric boats and ships**. Jefferson, North Carolina, USA: McFarland & Company, Inc., 2017.

DILL, Jennifer; ROSE, Geoffrey. Electric bikes and transportation policy. **Transportation Research Record**, [s. l.], n. 2314, p. 1–6, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3141/2314-01>

DING, Yuanli *et al.* **Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives**. [S. l.]: Springer Science and Business Media B.V., 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41918-018-0022-z>

DRANKA, Géremi Gilson; FERREIRA, Paula. Electric vehicles and biofuels synergies in the brazilian energy system. **Energies**, [s. l.], v. 13, n. 17, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13174423>

ECO, Umberto. **Como se faz uma tese**. 26ª Ed.ed. São Paulo: Perspectiva, 2016.

ECUADOR. **Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: https://varusecuador.com/wp-content/uploads/2021/05/Estrategia_Nacional_de_Electromovilidad_Ecuador.pdf.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanço energético nacional**. Brasília: [s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf>.

EPA. **Electric Vehicle Myths**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/greenvehicles/electric-vehicle-myths#Myth5>. Acesso em: 17 jan. 2022.

EPBR. **Fim do PPI para precificação dos combustíveis e sustentabilidade : um diálogo necessário**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://epbr.com.br/fim-do-ppi-para-precificacao-dos-combustiveis-e-sustentabilidade-um-dialogo-necessario/>. Acesso em: 13 dez. 2022.

EPE. **Balanço Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 2021**. Brasília-DF: [s. n.], 2022. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

EPE. **DEMANDA DE ENERGIA PARA VEÍCULOS LEVES Nº01**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2018a.

EPE. **Eletromobilidade e Biocombustíveis: Documento de Apoio ao PNE 2050**. [S. l.: s. n.], 2018b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Eletromobilidade e Biocombustiveis.pdf.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional Relatório Síntese 2024 Relatório Síntese 2024**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_Síntese_2024_PT.pdf.

ETZKOWITZ, Henry; ZHOU, Chunyan. **The triple helix: University-industry-government innovation and entrepreneurship**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9781315620183>

EURONEWS. **Germany refuses to agree to EU ban on new fossil fuel cars from 2035**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.euronews.com/green/2022/06/22/germany-refuses-to-agree-to-eu-ban-on-new-fossil-fuel-cars-from-2035>. Acesso em: 13 fev. 2023.

EVI. Support for the Electro-Mobility Declaration and Call to Action. [s. l.], v. 16, n. 1994, p. 1–37, 2015.

FALCONE, Pasquale Marcello. Sustainable Energy Policies in Developing Countries: A Review of Challenges and Opportunities. **Energies**, [s. l.], v. 16, n. 18, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16186682>

FIGUEIREDO, Júlio César Bastos de. Modelo De Difusão De Bass: Uma Aplicação Para a Indústria De Motocicletas No Brasil. **Revista Gestão Industrial**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 38–58, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/s1808-04482012000100003>

FIOCRUZ. **Temas e Indicadores**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://climaesaude.icict.fiocruz.br/tema/eventos-extremos-0#:~:text=Os eventos climáticos e meteorológicos,de processos geológicos ou fenômenos>. Acesso em: 17 jan. 2022.

FOLHA DE SP. Montadoras chinesas apostam no Brasil com reveses nos EUA e UE. São Pulo, 2024. p. 220192. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2024/05/montadoras-chinas-apostam-no-brasil-com-reveses-nos-eua-e-ue.shtml>

FORNARI, Rafael Vecchio; SUZUKI, Alexandre Ryuji; YAMADA, Decio Sussumu. Prospects for Future Non-Manual Transmissions Developments for Vehicle Applications in Brazil. In: , 2015. **24th SAE Brasil International Congress**. [S. l.]: SAE, 2015. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/2015-36-0348>

FOUQUET, Roger. Historical energy transitions: Speed, prices and system transformation. **Energy Research and Social Science**, [s. l.], v. 22, p. 7–12, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.014>

FRANCO, Dalcio Augusto Pedreira Junqueira *et al.* Incentivos fiscais para comercialização de veículos no Brasil Programa ROTA 2030 Tax incentives for vehicle marketing in Brazil ROTA 2030 Program Dalcio Augusto Pedreira Junqueira Franco 1 Marcelo Borghi Moreira da Silva 2. **CAFI**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 149–164, 2020.

GAO, Zhonghui *et al.* Promises, Challenges, and Recent Progress of Inorganic Solid-State

Electrolytes for All-Solid-State Lithium Batteries. **Advanced Materials**, [s. l.], v. 30, n. 17, p. 1–27, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adma.201705702>

GARLET, Taís Bisognin *et al.* Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 111, n. May, p. 157–169, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.013>

GARRUTO, Ruben *et al.* Connecting parking facilities to the electric grid: A vehicle-to-grid feasibility study in a railway station's car park. **Energies**, [s. l.], v. 13, n. 12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13123083>

GAUTO, Marcelo Antunes *et al.* Hybrid vigor: Why hybrids with sustainable biofuels are better than pure electric vehicles. **Energy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 76, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.101261>

GEELS, Frank W. **The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>

GEELS, Frank W. *et al.* **The Socio-Technical Dynamics of Low-Carbon Transitions**. [S. l.]: Cell Press, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.09.018>

GHOSH, A. Possibilities and challenges for the inclusion of the electric vehicle (EV) to reduce the carbon footprint in the transport sector: A review. **Energies**, [s. l.], v. 13, n. 10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13102602>

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª Ediçãoed. São Paulo: [s. n.], 2008. ISSN 00034886.

GIRISHKUMAR, G. *et al.* Lithium-air battery: Promise and challenges. **Journal of Physical Chemistry Letters**, [s. l.], v. 1, n. 14, p. 2193–2203, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jz1005384>

GLENSOR, Kain; MARÍA ROSA MUÑOZ, B. Life-cycle assessment of Brazilian transport biofuel and electrification pathways. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 22, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11226332>

GOEL, Sonali; SHARMA, Renu; RATHORE, Akshay Kumar. **A review on barrier and challenges of electric vehicle in India and vehicle to grid optimisation**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100057>

GRAMKOW, Camila. O Big Push Ambiental no Brasil. **SÉRIE PERSPECTIVAS - Fundação Friedrich Ebert**, [s. l.], n. 20, p. 31, 2019. Disponível em: <https://www.cepal.org/pt-br/publicaciones/44506-o-big-push-ambiental-brasil-investimentos-coordenados-estilo-desenvolvimento>

GRANGEIA, Carolina; SANTOS, Luan; LAZARO, Lira Luz Benites. The Brazilian biofuel policy (RenovaBio) and its uncertainties: An assessment of technical, socioeconomic and institutional aspects. **Energy Conversion and Management: X**, [s. l.], v. 13, p. 100156, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100156>

GRAZIOSI, Maria Elisabete Salvador; LIEBANO, Richard Eloin; NAHAS, Fabio Xerfan.

Elaboração da pergunta norteadora de pesquisa Especialização em Saúde da Família. Modalidade a Distância. UNIFESP. [S. l.: s. n.], 2011.

GUIMARÃES, Vanessa de Almeida; RIBEIRO, Glaydston Mattos; DE AZEVEDO-FERREIRA, Maxwell. Mapping of the Brazilian scientific publication on facility location. **Pesquisa Operacional**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 307–330, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2018.038.02.0307>

GUTH, Daniel; ANDRADE, Victor. Coletânea Mercado de bicicletas no Brasil. **Revista Bicicletas Elétricas**, [s. l.], n. 1, 2020.

HACHE, E. *et al.* Critical raw materials and transportation sector electrification: A detailed bottom-up analysis in world transport. **Applied Energy**, [s. l.], v. 240, p. 6–25, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.057>

HAGHANI, Milad *et al.* Trends in electric vehicles research. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [s. l.], v. 123, n. March, p. 103881, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103881>

HARRISON, G.; THIEL, C. An exploratory policy analysis of electric vehicle sales competition and sensitivity to infrastructure in Europe. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 114, p. 165–178, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.007>

HIGUERAS-CASTILLO, E. *et al.* Perceived value and customer adoption of electric and hybrid vehicles. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 18, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11184956>

HILDERMEIER, J. *et al.* Smart ev charging: A global review of promising practices. **World Electric Vehicle Journal**, [s. l.], v. 10, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/wevj10040080>

HOANG, Anh Tuan *et al.* Impacts of COVID-19 pandemic on the global energy system and the shift progress to renewable energy: Opportunities, challenges, and policy implications. **Energy Policy**, [s. l.], v. 154, n. October 2020, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112322>

HOQUE, Najmul *et al.* Environmental life cycle assessment of alternative fuels for Western Australia's transport sector. **Atmosphere**, [s. l.], v. 10, n. 7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos10070398>

HUNG, Nguyen Ba; LIM, Ocktaeck. **A review of history, development, design and research of electric bicycles**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114323>

HYDROGEN CENTRAL. **Russia to invest \$10 billion in Battery & Hydrogen Fuel Cell electric vehicles by 2030**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://hydrogen-central.com/russia-invest-10-billion-battery-hydrogen-fuel-cell-electric-vehicles-2030/>. Acesso em: 13 mar. 2023.

IBEF. **Automobile Industry in India**. [S. l.], 2025.

IDEC. **Manifesto por um Sistema Único da Mobilidade Urbana**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: https://idec.org.br/sites/default/files/2022-05/_manifesto_sum_v3.pdf.

IEA. **Electric vehicles** International Energy Agency. Paris: [s. n.], 2020a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electric-vehicles>.

IEA. Energy Policy Review - Germany 2020. **Germany 2020**, [s. l.], p. 1–211, 2020b.

IEA. Global EV Outlook 2022 - Securing supplies for an electric future. **Global EV Outlook 2022**, [s. l.], p. 221, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022%0Ahttps://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf>

IEA. Global EV Outlook 2024 Moving towards increased affordability. **Electric Vehicles Initiative**, [s. l.], p. 79, 2024. Disponível em: www.iea.org

INFRAESTRUTURA. **Frota de Veículos - 2022**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2022>. Acesso em: 19 mar. 2023.

INMET. **Sistema Nacional de Meteorologia (SNM) emite Alerta de Emergência Hídrica**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/sistema-nacional-de-meteorologia-snm-emite-alerta-de-emergencia-hidrica>. Acesso em: 27 jul. 2021.

JAEGGER, Joel *et al.* **Does Biden’s American Jobs Plan Stack Up on Climate and Jobs?** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/does-bidens-american-jobs-plan-stack-climate-and-jobs>. Acesso em: 30 jun. 2021.

JAWORSKI, Jarosław. Electromobility development in selected European countries in the light of available tax concessions. **European Journal of Service Management**, [s. l.], v. 28, p. 187–192, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18276/ejsm.2018.28/2-23>

KANGER, L. *et al.* Technological diffusion as a process of societal embedding: Lessons from historical automobile transitions for future electric mobility. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [s. l.], v. 71, p. 47–66, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.11.012>

KASLIWAL, Akshat *et al.* Role of flying cars in sustainable mobility. **Nature Communications**, [s. l.], v. 10, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09426-0>

KAZEMZADEH, Khashayar; BANSAL, Prateek. Electric bike level of service: A review and research agenda. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 75, n. September, p. 103413, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103413>

KOLPAKOV, A. Yu; GALINGER, A. A. Economic Efficiency of the Spread of Electric Vehicles and Renewable Energy Sources in Russia. **Herald of the Russian Academy of Sciences**, [s. l.], v. 90, n. 1, p. 25–35, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S1019331620010165>

KOVAČ, Ankica; PARANOS, Matej; MARCIUŠ, Doria. Hydrogen in energy transition: A review. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 46, n. 16, p. 10016–10035,

2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.256>

KUMAR, Prashant *et al.* Potential health risks due to in-car aerosol exposure across ten global cities. **Environment International**, [s. l.], v. 155, n. May, p. 106688, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106688>

KUMAR, Rakesh; PADMANABAN, Sanjeevikumar. **Electric Vehicles for India: Overview and Challenges**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/331876467>.

KUSHNIR, Duncan *et al.* Adopting hydrogen direct reduction for the Swedish steel industry: A technological innovation system (TIS) study. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 242, p. 118185, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118185>

KUSTAR, Anna; WELLE, Benjamin; TUN, Thet Hein. **Sustainable Urban Mobility in the NDCs: The Essential Role of Public Transport** World Resources Institute. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.46830/wriwp.22.00018>.

LASCOUMES, Pierre; GALES, Patrick L E. Lascoumes E Le Gales. **Governance**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 1–21, 2007. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1468-0491.2007.00342.x>

LATTIN, James M.; (Stanford University); CARROLL, J.Douglas; (Rutgers University); GREEN, Paul E.; (Pennsylvania State University). Lattin_05_AnaliseFatorial. In: ANÁLISE DE DADOS MULTIVARIADOS. ISBN 978-8ed. São Paulo: CENGAGE Learning, 2011. p. 102–137.

LEURENT, Fabien; WINDISCH, Elisabeth. Triggering the development of electric mobility: A review of public policies. **European Transport Research Review**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 221–235, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12544-011-0064-3>

LI, Wenbo; YANG, Muyi; SANDU, Suwin. Electric vehicles in China: A review of current policies. **Energy and Environment**, [s. l.], v. 29, n. 8, p. 1512–1524, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0958305X18781898>

LI, Ying *et al.* Business innovation and government regulation for the promotion of electric vehicle use: lessons from Shenzhen, China. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 134, p. 371–383, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.013>

LIMA, M. A. *et al.* Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, [s. l.], v. 33, n. November 2018, p. 100504, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504>

LIU, Ping; ROSS, Russel; NEWMAN, Aron. Long-range, low-cost electric vehicles enabled by robust energy storage. **MRS Energy and Sustainability**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–13, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1557/mre.2015.13>

LUCA DE TENA, Diego; PREGGER, Thomas. Impact of electric vehicles on a future renewable energy-based power system in Europe with a focus on Germany. **International Journal of Energy Research**, [s. l.], v. 42, n. 8, p. 2670–2685, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/er.4056>

MALAQUIAS, Augusto César Teixeira *et al.* **The misleading total replacement of internal combustion engines by electric motors and a study of the Brazilian ethanol importance for the sustainable future of mobility: a review.** [S. l.]: Springer Verlag, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40430-019-2076-1>

MARCHETTI, C.; NAKICENOVIC, N. **The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model.** [S. l.: s. n.], 1979.

MARCONI, Maria; LAKATOS, Eva. **Fundamentos de metodologia científica.** [S. l.: s. n.], 2003. ISSN 9788522457588. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-97022003000100005>

MARKARD, Jochen. **The next phase of the energy transition and its implications for research and policy.** [S. l.]: Nature Publishing Group, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0171-7>

MARTÍNEZ-DÍAZ, Margarita; SORIGUERA, Francesc; PÉREZ, Ignacio. Technology: A necessary but not sufficient condition for future personal mobility. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 10, n. 11, p. 1–24, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10114141>

MATOS, Coordenador Marcelo *et al.* **Frente Parlamentar Mista em Defesa da Eletromobilidade Brasileira.** [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/internet/deputado/frenteDetalhe.asp?id=53814>. Acesso em: 31 jan. 2022.

MCKINSEY&COMPANY. Automotive Revolution & Perspective Towards 2030. **Auto Tech Review**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 20–25, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1365/s40112-016-1117-8>

MDIC/GECEX. **Imposto de importação para veículos eletrificados será retomado em janeiro de 2024.** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/novembro/imposto-de-importacao-para-veiculos-eletrificados-sera-retomado-em-janeiro-de-2024>. Acesso em: 30 nov. 2024.

MEULEMAN, Louis. Public administration and governance for the sdgs: Navigating between change and stability. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13115914>

MILLER, Clark A.; ILES, Alastair; JONES, Christopher F. The Social Dimensions of Energy Transitions. **Science as Culture**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 135–148, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09505431.2013.786989>

MOELETSI, Mokhele Edmond. Future policy and technological advancement recommendations for enhanced adoption of electric vehicles in south africa: A survey and review. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132212535>

MOHAMED, Nachaat *et al.* Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML)-based Information Security in Electric Vehicles: A Review. In: , 2023. **Proceedings - 2023 IEEE 5th Global Power, Energy and Communication Conference, GPECOM 2023.** [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. p. 108–113. Disponível em:

<https://doi.org/10.1109/GPECOM58364.2023.10175817>

MOORE, Christy; RANDALL, D'Arcy; HART, Hillary. The big picture: Using the unforeseen to teach critical thinking. **ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings**, [s. l.], p. 2–5, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.18260/1-2--5595>

MORENO-MONSALVE, Nelson Antonio; DELGADO-ORTIZ, Sandra Marcela. **Governance, public infrastructure projects and economic growth in BRICS countries** **International Conference on Project Management**. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0003-2879-3439>.

MORO, Alberto; LONZA, Laura. Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [s. l.], v. 64, n. July 2017, p. 5–14, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.012>

MORTON, Craig; ANABLE, Jillian; NELSON, John D. Assessing the importance of car meanings and attitudes in consumer evaluations of electric vehicles. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 495–509, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9376-9>

NADEEM, Talha Bin *et al.* Distributed energy systems: A review of classification, technologies, applications, and policies: **Energy Strategy Reviews**, [s. l.], v. 48, n. October 2022, p. 101096, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101096>

NAZARI, S.; BORRELLI, F.; STEFANOPOULOU, A. Electric Vehicles for Smart Buildings: A Survey on Applications, Energy Management Methods, and Battery Degradation. **Proceedings of the IEEE**, [s. l.], v. 109, n. 6, p. 1128–1144, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.3038585>

NEMET, Gregory F. Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change. **Research Policy**, [s. l.], v. 38, n. 5, p. 700–709, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.01.004>

NEMMP. **Website Link** : <https://heavyindustries.gov.in>. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://heavyindustries.gov.in/>.

NOEL, L. *et al.* Beyond emissions and economics: Rethinking the co-benefits of electric vehicles (EVs) and vehicle-to-grid (V2G). **Transport Policy**, [s. l.], v. 71, p. 130–137, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.08.004>

NYKVIST, Björn; NILSSON, Måns. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 329–332, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate2564>

OLABI, A. G.; WILBERFORCE, Tabbi; ABDELKAREEM, Mohammad Ali. Fuel cell application in the automotive industry and future perspective. **Energy**, [s. l.], v. 214, p. 118955, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118955>

ONG, B. C.; KAMARUDIN, S. K.; BASRI, S. Direct liquid fuel cells: A review. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 42, n. 15, p. 10142–10157, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.117>

ORSATO, Renato J. *et al.* The Electrification of Automobility. **Automobility in Transition? : A Socio-Technical Analysis of Sustainable Transport**, [s. l.], p. 205–229, 2012.

PAEZ, Arsenio. **Gray literature: An important resource in systematic reviews**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jebm.12266>

PALMER, Kate *et al.* Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan. **Applied Energy**, [s. l.], v. 209, n. October 2017, p. 108–119, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.089>

PANAMA. **Estrategia nacional de movilidad eléctrica de Panamá** ONU Medio Ambiente. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28090_A/GacetaNo_28090a_20160805.pdf.

PIRES, Roberto. **Arranjos Institucionais para Implementação de Políticas e Ações Governamentais em Direitos Humanos**. [S. l.]: ENAP, 2016. ISSN 1098-6596.

PLÖTZ, Patrick *et al.* Designing car bans for sustainable transportation. **Nature Sustainability**, [s. l.], v. 2, n. 7, p. 534–536, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0328-9>

POLLÁK, František *et al.* Promotion of electric mobility in the European Union—overview of project PROMETEUS from the perspective of cohesion through synergistic cooperation on the example of the catching-up region. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1–26, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13031545>

PORFIRIEV, Boris N.; SHIROV, Alexander A.; KOLPAKOV, Andrey Yu. Low-carbon development strategy: Prospects for the Russian economy. **World Economy and International Relations**, [s. l.], v. 64, n. 9, p. 15–25, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25>

RABENSTEIN, Gerd; HACKER, Viktor. Hydrogen for fuel cells from ethanol by steam-reforming, partial-oxidation and combined auto-thermal reforming: A thermodynamic analysis. **Journal of Power Sources**, [s. l.], v. 185, n. 2, p. 1293–1304, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.08.010>

RAJASHEKARA, Kaushik. History of Electric Vehicles in General Motors. **IEEE Transactions on Industry Applications**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 897–904, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/28.297905>

RAUGEI, M.; WINFIELD, P. Prospective LCA of the production and EoL recycling of a novel type of Li-ion battery for electric vehicles. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 213, p. 926–932, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.237>

RENEWABLE ENERGY AGENCY, International. **Long-term energy scenarios and low-emission development strategies: Stocktaking and alignment**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: www.irena.org/publications.

RICHARD SWEDBERG. Exploratory research. In: ELMAN, C., GERRING, J., & MAHONEY, J. (org.). **The Production of Knowledge: Enhancing Progress in Social Science**. [S. l.]: Cambridge University Press, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1017/9781108762519>

RIETMANN, N.; LIEVEN, T. How policy measures succeeded to promote electric mobility – Worldwide review and outlook. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 206, p. 66–75, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.121>

ROBERTO MANGABEIRA UNGER. **A Economia do Conhecimento**. 978-85-69536-29-1. ed. São Paulo: Autonomia Literária, 2018.

ROGELJ, Joeri *et al.* Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. **Nature**, [s. l.], v. 534, n. 7609, p. 631–639, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature18307>

ROSENSTEIN-RODAN, P.N. Notes on the Theory of the ‘Big Push’. In: ELLIS, H.S. (org.). **Economic Development for Latin America. International Economic Association Series**. London: Palgrave Macmillan, 1961. Disponível em: https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-349-08449-4_3

RUDESTAM, Kjell Erik; NEWTON, Rae R. **Surviving your dissertation: A comprehensive guide to content and process**. 2nd ed.ed. [S. l.: s. n.], 2001.

RYGHAUG, Marianne; SKJØLSVOLD, Tomasmo. Nurturing a Regime Shift Toward Electro-mobility in Norway. **Urban Book Series**, [s. l.], p. 147–165, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-96526-0_8

SACHS, Jeffrey D. *et al.* Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals. **Nature Sustainability**, [s. l.], v. 2, n. 9, p. 805–814, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0352-9>

SAFARI, M. Battery electric vehicles: Looking behind to move forward. **Energy Policy**, [s. l.], v. 115, p. 54–65, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.053>

SANTOS, Thiago Farias dos; DAL FORNO, Ana Julia. Uma comparação entre tecnologias de geração de energia solar fotovoltaica e heliotérmica A comparison between photovoltaic and solar thermal power generation technologies. **Latin American Journal of Energy Research**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 212–222, 2024.

SASSE, Lea Marie. **Sustainable Development in Latin America – Linking Renewable Energy , Economic Complexity and GHG Emissions by**. 2022. - LUND University, [s. l.], 2022.

SCHIRMER, Waldir Nagel; GAUER, Mayara Ananda. Os biocombustíveis no Brasil: panorama atual, emissões gasosas e os métodos analíticos de monitoramento da qualidade do ar referente a gases de natureza orgânica / Biofuels in Brazil: the current scene, gaseous emissions and analytical methods on air qual. **Revista Ambiência**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 139–157, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5777/ambiencia.2012.01.01rb>

SCHMIDT, O. *et al.* The future cost of electrical energy storage based on experience rates. **Nat Energy**, [s. l.], v. 2, n. 17110, 2017. Disponível em: <https://doi.org/https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1038/nenergy.2017.110>

SEBRI, Maamar; BEN-SALHA, Ousama. **On the causal dynamics between economic**

growth, renewable energy consumption, CO2 emissions and trade openness: Fresh evidence from BRICS countries. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.033>

SELLTIZ, Claire; COOK; WRIGHTSMAN, Lawrence Samuel. **Métodos de pesquisa nas relações sociais: Delineamentos de pesquisa.** [S. l.: s. n.], 1987. v. 2

SEMIKASHEV, V. V. *et al.* Development of the Electric Vehicles Market in Russia as a Necessary Condition for Benefiting from the Global Trend towards Transport Electrification. **Studies on Russian Economic Development**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 274–281, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S1075700722030133>

SENADO FEDERAL. **Senado Federal Frente Parlamentar pela Eletromobilidade Senado Federal Frente Parlamentar pela Eletromobilidade.** [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj3xLHdqqWLAxVhrpUCHWSGI4kQFnoECBcQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww25.senado.leg.br%2Fweb%2Fatividade%2Fconselhos%2F%2Fconselho%2FFPELETROMOBILIDADE&usq=AOvVaw2rD-8ESFoOw6>. Acesso em: 2 fev. 2025.

SHOWERS, Samson Obu; RAJI, Atanda K. Electric vehicles in South Africa: Status and challenges. *In: , 2021. 2021 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2021.* [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PowerAfrica52236.2021.9543276>

SINGH, Krishna Veer; BANSAL, Hari Om; SINGH, Dheerendra. A comprehensive review on hybrid electric vehicles: architectures and components. **Journal of Modern Transportation**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 77–107, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40534-019-0184-3>

SINGH, Vedant; SINGH, Virender; VAIBHAV, S. **Analysis of electric vehicle trends, development and policies in India.** [S. l.]: Elsevier Ltd, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.06.006>

SKJØLSVOLD, T.M.; RYGHAUG, M. Temporal echoes and cross-geography policy effects: Multiple levels of transition governance and the electric vehicle breakthrough. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, [s. l.], v. 35, p. 232–240, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.06.004>

SOUZA, Nathália Machado de. **IMPACTO DA PANDEMIA DE COVID-19 NA DISTRIBUIÇÃO DE RIQUEZA PARA OS EMPREGADOS DAS EMPRESAS DO SETOR CALÇADISTA LISTADAS NA B3.** 31 f. 2022. - Universidade de Brasília, [s. l.], 2022. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/36694/1/2022_NathaliaMachadoDeSouza_tcc.pdf

SOUZA, Thiago Leite de Moura e *et al.* DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS ESTRATÉGICAS PARA INOVAÇÃO: EVIDÊNCIAS A PARTIR DO CASO DO SETOR AUTOMOTIVO BRASILEIRO. *In: , 2011. ENEGEP.* [S. l.: s. n.], 2011.

SOVACOOOL, B.K. *et al.* Energy Injustice and Nordic Electric Mobility: Inequality, Elitism, and Externalities in the Electrification of Vehicle-to-Grid (V2G) Transport. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 157, p. 205–217, 2019a. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.11.013>

SOVACOOOL, B.K. *et al.* Pleasure or profit? Surveying the purchasing intentions of potential electric vehicle adopters in China. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s. l.], v. 124, p. 69–81, 2019b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.03.002>

SOVACOOOL, Benjamin K. **How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions**. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020>

SOVACOOOL, Benjamin K.; AXSEN, Jonn. Functional, symbolic and societal frames for automobility: Implications for sustainability transitions. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s. l.], v. 118, p. 730–746, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.008>

STAFFELL, I. *et al.* Energy Revolution : A Global Outlook Headline messages. **Drax: Selby**, [s. l.], p. 1–39, 2018. Disponível em: <https://www.drax.com/wp-content/uploads/2018/12/Energy-Revolution-Global-Outlook-Report-Final-Dec-2018-COP24.pdf>

STEINHILBER, Simone; WELLS, Peter; THANKAPPAN, Samarthia. Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles. **Energy Policy**, [s. l.], v. 60, p. 531–539, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.076>

STEPHENS, Jennie C.; GRAHAM, Amanda C. Toward an empirical research agenda for sustainability in higher education: exploring the transition management framework. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 18, n. 7, p. 611–618, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.07.009>

STOKES, Leah C.; BREETZ, Hanna L. Politics in the U.S. energy transition: Case studies of solar, wind, biofuels and electric vehicles policy. **Energy Policy**, [s. l.], v. 113, n. July 2017, p. 76–86, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.057>

STOLF, Rubismar; DE OLIVEIRA, Ana Paula Rodrigues. The success of the brazilian alcohol program (Proalcool)-a decadeby-decade brief history of ethanol in Brazil. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 243–248, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-ENG.AGRIC.V40N2P243-248/2020>

STOPFER, Nicole *et al.* **A Mobilidade Elétrica na América Latina A Mobilidade Elétrica na América Latina Tendências , oportunidades e desafios**. [S. l.: s. n.], 2021.

STRANGE, Roger. The 2020 Covid-19 pandemic and global value chains. **Journal of Industrial and Business Economics**, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 455–465, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40812-020-00162-x>

SUN, W.; NEUMANN, F.; HARRISON, G.P. Robust Scheduling of Electric Vehicle Charging in LV Distribution Networks under Uncertainty. **IEEE Transactions on Industry Applications**, [s. l.], v. 56, n. 5, p. 5785–5795, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIA.2020.2983906>

SURANA, Kavita; ANADON, Laura Diaz. Public policy and financial resource mobilization for wind energy in developing countries: A comparison of approaches and outcomes in China

and India. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 35, p. 340–359, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.10.001>

TAROZZI, Massimiliano. **O que é a Grounded Theory? Metodologia de pesquisa e de teoria fundamentada nos dados**. Petrópolis, RJ, Brasil: Editora Vozes Ltda, 2011.

TELANG, Ray *et al.* Merge ahead: Electric vehicles and the impact on the automotive supply chain. **Pwc**, [s. l.], p. 1–7, 2019.

THIEL, C.; TSAKALIDIS, A.; JÄGER-WALDAU, A. Will electric vehicles be killed (again) or are they the next mobility killer app? **Energies**, [s. l.], v. 13, n. 7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13071828>

TIE, Siang Fui; TAN, Chee Wei. A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 20, p. 82–102, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.077>

TODOROVA, Ana; KOSTADINOVA, Irina. The Role of Environmental Non-Governmental Organizations in Achieving Energy Efficiency. In: , 2024. **2024 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, EE and AE 2024 - Proceedings**. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/EEAE60309.2024.10600577>

TONGWANE, Mphethe I.; MOELETSI, Mokhele E. Status of electric vehicles in South Africa and their carbon mitigation potential. **Scientific African**, [s. l.], v. 14, p. e00999, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00999>

TORABI, Roham; GOMES, Álvaro; MORGADO-DIAS, F. Case study for Porto Santo. **Energies**, [s. l.], v. 14, n. 12, 2021.

TRAN, Martino *et al.* Realizing the electric-vehicle revolution. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 2, n. 5, p. 328–333, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate1429>

UN. **What is climate change?**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>. Acesso em: 17 jan. 2022.

UNRUH, Gregory C. Escaping carbon lock-in. **Energy Policy**, [s. l.], v. 30, n. 30, p. 317–325, 2002.

UNRUH, Gregory C. Understanding carbon lock-in. **Energy Policy**, [s. l.], p. 817–830, 2000.

URES, Carolina *et al.* Markets , cases and analyses STUDY OF ELECTRIC SCOOTERS. **Ministry of Economy**, [s. l.], 2020.

VAN DER KAM, M. J. *et al.* Diffusion of solar photovoltaic systems and electric vehicles among Dutch consumers: Implications for the energy transition. **Energy Research and Social Science**, [s. l.], v. 46, n. June, p. 68–85, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.003>

VARGAS, Jorge Enrique Velandia *et al.* The new neighbor across the street: An outlook for battery electric vehicles adoption in Brazil. **World Electric Vehicle Journal**, [s. l.], v. 11, n. 3, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/WEVJ11030060>

VELHO, Sérgio Roberto Knorr *et al.* POLICY INSTRUMENTS TO PROMOTE ELECTRIC MOBILITY IN BRAZIL. In: , 2019, São Paulo. **XXVII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva**. São Paulo: Blucher, 2019. p. 1–29. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/simea2019-PAP15>

VELLOSO, João Paulo dos Reis. **Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil**. Instituto Nacional de Altos Estudos. Rio de Janeiro: [s. n.], 2010. Disponível em: <http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/eletrobras/estudos/velloso1.pdf>.

VIGIER, F. *et al.* Development of anode catalysts for a direct ethanol fuel cell. **Journal of Applied Electrochemistry**, [s. l.], v. 34, p. 439–446, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B>

WANG, Jiawei *et al.* A review of Danish integrated multi-energy system flexibility options for high wind power penetration. **Clean Energy**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 23–35, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ce/zkx002>

WANG, Kai Hua *et al.* Is technological innovation making world “Greener”? An evidence from changing growth story of China. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 165, n. July 2020, p. 120516, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120516>

WHITE HOUSE. **Fact Sheet: The American Jobs Plan**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/03/31/fact-sheet-the-american-jobs-plan/>. Acesso em: 21 jul. 2021.

WOLF, S.; KORZYNIETZ, R. Innovation needs for the integration of electric vehicles into the energy system. **World Electric Vehicle Journal**, [s. l.], v. 10, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/wevj10040076>

WOLFFENBÜTTEL, Rodrigo Foresta. Políticas setoriais e inovação. **Revista Brasileira de Inovação**, [s. l.], v. 21, p. e022017, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/rbi.v21i00.8665264>

WU, Yang Andrew *et al.* A review of evolutionary policy incentives for sustainable development of electric vehicles in China: Strategic implications. **Energy Policy**, [s. l.], v. 148, n. PB, p. 111983, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111983>

YUAN, Meng *et al.* The electrification of transportation in energy transition. **Energy**, [s. l.], v. 236, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121564>

ZENG, Xiaoqiao *et al.* **Commercialization of Lithium Battery Technologies for Electric Vehicles**. [S. l.]: Wiley-VCH Verlag, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/aenm.201900161>

ZHANG, Xingping *et al.* Review of electric vehicle policies in China: Content summary and effect analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 70, n. November 2016, p. 698–714, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.250>

ZOLFAGHARIAN, M. *et al.* Toward the dynamic modeling of transition problems: The case of electric mobility. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1–23, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13010038>

ANEXOS

ANEXO 1: Q-sort dos 38 respondentes para os 28 *statements*

Participante	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	Média	Desvio Padrão
IZCG	0	2	-1	1	0	-1	1	-1	1	-1	3	-2	0	2	0	-4	-2	1	-3	-1	3	1	2	0	4	0	-3	-2	0	1,944
7PNQ	1	-1	-2	2	-2	-1	0	1	1	-1	-1	1	2	-2	0	0	0	2	1	3	-4	4	3	0	0	-3	-1	-3	0	1,944
VUV1	3	-2	2	-1	1	1	2	1	-1	3	-3	-2	1	-1	0	0	2	0	-1	1	-4	0	4	0	-3	-2	0	-1	0	1,944
QJS7	-3	-4	1	3	1	-1	3	-3	2	0	-2	2	0	-1	-1	0	0	4	2	-1	-2	1	1	1	0	-1	0	-2	0	1,944
LNBY	1	-1	0	3	-2	4	2	-2	-3	0	0	-1	0	1	1	0	3	2	-1	-4	1	-3	-1	-1	2	0	-2	1	0	1,944
8EAC	2	0	2	-3	-1	0	0	-2	3	1	0	-1	-2	-1	0	-1	0	-2	3	-4	-1	1	2	1	4	1	-3	1	0	1,944
54XB	1	-1	2	-3	1	-2	-2	1	3	2	-1	0	0	3	-2	1	0	2	-1	1	-4	4	-1	0	0	-3	-1	0	0	1,944
8VA7	3	-4	1	-1	0	1	-1	0	1	0	1	-3	0	0	2	-1	2	-3	-2	-2	-2	0	2	1	4	3	-1	-1	0	1,944
SK3W	-3	1	2	-4	1	-1	-3	-2	3	4	0	-1	1	2	0	-2	2	0	0	-1	0	1	1	3	0	-2	-1	-1	0	1,944
8JPF	0	0	2	-2	-3	2	-1	2	4	0	-1	0	-1	3	-1	0	1	-2	1	-1	-4	-2	1	1	0	3	-3	1	0	1,944
OWG1	0	-1	1	0	1	-1	-3	-1	2	1	4	-1	3	1	0	-1	1	0	2	-2	-4	0	3	2	-3	-2	0	-2	0	1,944
E3G5	-1	0	0	-1	-2	0	0	-1	-2	0	1	-4	4	1	3	-3	1	1	2	2	-3	1	-1	2	-1	-2	0	3	0	1,944
GZYA	0	1	-2	2	-3	-1	-1	-1	0	0	-4	4	1	3	-1	-2	2	3	0	-1	0	1	1	1	-2	2	0	-3	0	1,944
MUGK	-1	0	-1	1	-1	-4	-2	2	0	4	0	1	1	-1	1	3	0	0	-1	-2	-3	0	-3	1	3	2	-2	2	0	1,944
ZKT0	-2	1	3	4	1	-1	3	-1	1	0	-3	1	-1	-3	-1	0	0	0	0	-2	-1	2	2	1	2	-4	-2	0	0	1,944
FF58	2	1	1	1	1	0	0	-1	4	-3	3	3	-1	-2	1	2	-1	0	0	-2	-4	2	-3	-1	0	-2	-1	0	0	1,944
7ECQ	0	0	1	-1	-1	0	-1	3	2	4	-2	1	2	-2	1	0	1	-4	0	1	-3	2	3	-1	-2	0	-3	-1	0	1,944
JR3R	4	0	1	-2	0	1	3	1	-1	2	0	0	0	1	-4	-1	1	3	-3	-1	-2	2	-2	-3	-1	2	0	-1	0	1,944
H03Q	0	-4	-3	-1	3	0	1	0	2	-1	1	-2	3	-2	0	4	2	-2	1	-1	-3	0	-1	-1	1	1	0	2	0	1,944
281K	0	1	1	-4	2	1	-1	-2	3	0	-3	2	2	-1	0	-1	0	-2	-1	-1	-2	1	3	4	1	0	-3	0	0	1,944
ABN8	0	4	-1	3	-1	-1	1	-1	-2	0	2	-4	0	1	1	2	0	2	-3	0	-2	-1	-2	0	-3	3	1	1	0	1,944
AVQX	-1	1	0	-1	4	1	-3	2	-4	1	2	-2	0	0	1	-1	0	-2	0	-1	-3	2	-1	0	1	3	-2	3	0	1,944
6SMW	0	2	0	-3	-1	-1	-2	1	-3	-1	0	-1	2	2	1	4	0	-4	0	0	-2	1	1	-1	1	3	-2	3	0	1,944
2579	-1	1	4	0	1	-2	-2	-3	-1	1	-1	2	3	1	0	2	-3	0	-1	0	-2	-4	0	3	0	2	-1	1	0	1,944
MXUN	-1	-2	0	2	1	2	-1	1	4	-2	0	1	0	1	0	-1	-1	0	2	1	3	3	0	-1	-3	-2	-4	-3	0	1,944

WH01	2	-1	-3	2	-3	3	-2	1	0	1	1	0	-1	0	0	-1	0	-2	2	0	-1	1	-4	4	-2	1	3	-1	0	1,944
Participante	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	Média	Desvio Padrão
0GBK	-3	1	0	-3	1	0	0	-1	3	-1	1	-2	4	-1	1	-1	-2	2	1	2	-4	3	0	0	-1	2	-2	0	0	1,944
TVTT	2	1	2	1	1	3	4	-2	-1	-3	0	1	-1	-1	0	1	0	-2	2	-4	-3	-1	3	-1	0	-2	0	0	0	1,944
C1HI	1	-2	1	2	1	-4	0	3	-1	1	-1	2	4	-1	-2	2	0	-2	1	3	-3	-3	0	0	-1	0	-1	0	0	1,944
OCN6	2	3	-2	0	3	-1	0	0	1	2	0	0	-2	1	-3	-1	-1	4	-4	0	1	-2	2	-3	-1	1	1	-1	0	1,944
BM4B	4	-2	1	1	-2	1	0	-1	-3	0	0	1	1	-1	-2	-1	2	0	2	3	-1	2	0	3	-1	-3	0	-4	0	1,944
BZEC	3	-2	-3	0	0	4	1	1	0	-1	-2	-1	0	-1	2	-4	0	-1	1	0	2	-2	1	3	-3	1	2	-1	0	1,944
ZUWG	-3	-1	4	-4	0	-2	-2	-1	1	2	0	-1	1	1	2	-1	0	1	-1	0	-3	3	3	1	2	0	-2	0	0	1,944
N41J	0	-3	0	2	2	2	1	-1	-1	-1	4	0	3	-4	0	1	-3	1	0	-1	-2	-2	0	1	-2	1	-1	3	0	1,944
LFPQ	-1	-3	2	1	0	-1	-2	-1	0	0	-2	1	3	-2	2	2	1	-3	-1	0	-4	3	1	-1	4	1	0	0	0	1,944
Z1AW	-2	-3	-2	3	-1	1	-1	0	0	0	0	0	3	0	1	4	2	-1	-1	-1	-4	-2	1	1	1	2	-3	2	0	1,944
UQ26	1	4	0	-2	0	0	-1	-3	1	2	-1	-3	3	2	1	1	3	-4	-1	-2	1	2	0	-2	0	-1	-1	0	0	1,944
LTB9	3	1	2	-3	-1	3	0	-2	0	-1	0	-3	4	2	-2	-1	0	0	1	-2	-4	1	1	0	-1	-1	2	1	0	1,944

Anexo 2: Confronto entre os statements e as categorias da EM no Brasil

Statements	Categorias					
	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
1	Há preocupações de que a transição no setor de eletricidade faça subir o preço da eletricidade (Safarzyńska; van den Bergh, 2018).			Os carros elétricos estão entrando no mercado automotivo, mas seus preços ainda são caros principalmente devido ao custo da bateria (Berkeley et al., 2017; Canals Casals, Ll; Amante García, 2016; Zhang; Hanaoka, 2021) .	As políticas precisam reduzir o custo de capital dos VE (ou aumentar o custo dos veículos convencionais) para garantir uma melhor paridade (Sovacool et al., 2019d).	Porém, comparando o estágio de operação, os carros elétricos são aproximadamente 37% menos caros que os carros a diesel e 60% menos que os carros a gasolina (Petrauskiene et al., 2020).
2		A indústria dos transportes em si representa uma parte importante da economia: na UE (Andaloro et al., 2016).			A França combinou o apoio direto ao resgate para os principais fabricantes com uma série de políticas (Wang; Wells, 2020).	
3	Estatísticas recentes mostram que as emissões de CO2 do transporte rodoviário têm aumentado (Balacco et al., 2021). Há um consenso crescente de que os níveis atuais de transporte motorizado impactam negativamente a qualidade ambiental, (Plazier; Weitkamp; van den Berg, 2017).			Tecnologias disruptivas como eletrificação, automação e conectividade podem tornar o setor automotivo mais sustentável ao se empenhar pelos Seis Objetivos Zero, inclusive, Custo Zero (Rieck; Machielse; van Duin, 2020).	Vários países definiram datas de eliminação progressiva para ICEMCI. Essas medidas são encorajadoras, mas insuficientes, dada a rápida progressão das mudanças climáticas (Kastner et al., 2021).	

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
4	O transporte rodoviário é responsável por 18% do total de emissões de CO2 relacionadas com a energia em todo o mundo (Pareschi <i>et al.</i> , 2020). Segundo, Abdul-Manan et al. (2020) os HEV podem diminuir as emissões de GEE quando comparados com um veículo convencional à gasolina.			Atualmente, a tecnologia híbrida é a mais seguida pelos usuários (<i>italianos</i>), principalmente devido a fatores socioeconômicos como custo do investimento e ansiedade de alcance (Ala, Guido <i>et al.</i> , 2020).	Assim, medidas adicionais com foco em ações voluntárias (por exemplo, estratégias de incentivo) são necessárias para apoiar os objetivos das políticas (Cansino; Sánchez-Braza; Sanz-Díaz, 2018; Pollák et al., 2021).	A difusão de veículos elétricos híbridos pode ser vista como um passo intermediário para a sustentabilidade total dos sistemas de transporte e energia elétrica (Carlucci; Cirà; Lanza, 2018).
5	O BEV tem as vantagens de reduzir a poluição do ar e do ruído e pode aliviar significativamente a atual situação de poluição dos escapamentos dos automóveis (Zhang, T. <i>et al.</i> , 2019).	Os problemas mais importantes enfrentados atualmente pelo mercado de VE polonês incluem regulamentos instáveis e pouco claros que podem desencorajar ambos: produtores e compradores de se envolverem neste segmento de mercado (Kowalska-Pyzalska; Kott; Kott, 2020).	Do ponto de vista das emissões de CO2 e poluentes atmosféricos, o ideal é que o Brasil implemente políticas para estimular a adoção cada vez maior de carros elétricos (Glensor & Muñoz, 2019).	Os níveis de penetração de VE mais elevados aparecem em países onde o imposto de registro, o imposto de propriedade ou ambos os impostos desenvolveram um imposto verde parcial incluindo as emissões de CO2 no cálculo da fatura final (Cansino; Sánchez-Braza; Sanz-Díaz, 2018).	O Livro Branco da Comunidade Europeia sobre Transporte de 2011 estabeleceu uma meta de redução das emissões do transporte rodoviário em 60% dos níveis de 1990 até 2050 (Balacco <i>et al.</i> , 2021; Harrison; Thiel, 2017)	

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
6	Além disso, uma tentativa de instalar uma proporção de muito mais do que um ponto de carga por 10 PiEV (VE plug-in) pode levar a pequenos ganhos e altos custos. As vendas de PiEV são relativamente insensíveis em níveis-alvo acima de 25 PiEV por ponto de carga (Harrison; Thiel, 2017).	No entanto, para muitas cidades grandes onde a maioria das viagens são de longa distância, o carregamento de VE em movimento pode ocorrer durante a viagem. Neste contexto, a flexibilidade da infraestrutura de carregamento, bem como a tomada de decisão apropriada para gerenciar o carregamento, são vitais para o sucesso e a viabilidade a longo prazo da indústria de VE (Cao <i>et al.</i> , 2018).	Uma das principais barreiras é o número limitado de estações de carregamento que geram "ansiedade de alcance" entre os usuários de veículos elétricos, com medo de não chegar ao seu destino. Nesse sentido, a implantação de uma rede de postos de recarga rápida que possa reduzir essa ansiedade é essencial (Bernardo; Borrell; Perdiguero, 2016).	Para permitir o desenvolvimento do VE (e manter os custos de instalação baixos), a infraestrutura de carregamento deve ser instalada em locais com alto potencial de carregamento (Pagany; Ramirez Camargo; Dorner, 2019). A construção de redes de carregamento rápido exige atualmente um grande volume de capital e, portanto, requer um planejamento cuidadoso (Cilio; Babacan, 2021b).	A implantação de estações de recarga nas casas dos usuários e em áreas residenciais contribui significativamente para a melhoria e é desejável do ponto de vista do usuário do VE. (Melliger, Marc A.; van Vliet; Liimatainen, 2018). Há necessidade de implantar infraestruturas de carregamento rápido, especialmente em rodovias e estradas de alta velocidade, torna-se essencial (Mourad <i>et al.</i> , 2021).	O desenvolvimento da mobilidade elétrica e da energia sustentável resulta em novas tecnologias, como carregamento de veículos elétricos sem contato e métodos de coleta de energia em estradas, mas também em estradas de asfalto com autorregeneração (Venugopal <i>et al.</i> , 2018).
7	As baterias de tração de lítio são uma tecnologia chave para veículos elétricos plug-in (PiEV). A fabricação de baterias de tração contribui para as emissões de produção de veículos, e o desempenho da bateria pode ter efeitos significativos nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) do ciclo de vida para PiEV (Ambrose; Kendall, 2016).	Além disso, é importante identificar quem é o responsável por esta bateria. A diretiva europeia 2006/66/EC afirma que a empresa que coloca uma bateria no mercado é responsável pela sua gestão no fim da sua vida útil (fabricante do VE). No entanto, ao lidar com baterias VE de 2ª vida, não está claro onde recai a responsabilidade porque a bateria já estava no mercado (Canals Casals, Ll; Amante García, 2016).	Mesmo que o carregamento rápido esteja potencialmente prejudicando o estado de saúde (SOH) da bateria, o requisito de limitação de tempo por usuários de veículos é um sério desafio para a implantação do VE (Schücking <i>et al.</i> , 2017).	Projeções de preços sugerem que não há perspectiva de equilíbrio entre BEV e ICV antes de 2040, pois as taxas de aprendizado atuais de $9 \pm 2\%$ e $15 \pm 1\%$ para o preço e os custos de eletrificação, respectivamente, dos BEV. O DoE estabeleceu um alvo para o preço das baterias de 100 a 125 \$/kWh (Safari, 2018).		Ocorre que as baterias EV são consideradas inúteis para fins de tração após terem perdido 20% de sua capacidade e devem ser retiradas do carro. Então, como essas baterias ainda têm 80% de sua capacidade inicial, poderiam ser utilizadas como sistemas de armazenamento de energia para outras soluções (Canals Casals, Ll; Amante García, 2016).

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
8	Em termos de impactos do ciclo de vida, os BEV são os veículos com as maiores emissões de GEE em nível de veículo (construção + manutenção + processos de fim de vida) que são, em média, 20% maiores do que os veículos com motor de combustão interna e 6,5% superior aos veículos elétricos híbridos (HEVs) (Patella <i>et al.</i> , 2019).	Além disso, o investimento em BEV foi visto como "disruptivo", uma vez que a maior parte dos custos irrecuperáveis de OEM se relacionam às tecnologias ICEMCI existentes. Esses fabricantes estavam relutantes em mudar o suporte para o desenvolvimento de BEV (Berkeley <i>et al.</i> , 2017).	Sharma <i>et al.</i> (2019) propõem um projeto de célula de trabalho robótica para montagem rápida e confiável de módulos de bateria EV, em escala, para reduzir essa lacuna de oferta e demanda.	A forma como os fabricantes de automóveis tradicionais responde às metas de redução de carbono e veículos, pode influenciar muito a disponibilidade e a capacidade de compra de novas inovações, como veículos elétricos (Sovacool <i>et al.</i> , 2019d)	No entanto, durante os últimos anos, a produção, proliferação e uso de VE colocaram desafios às práticas, tecnologias e economias de regimes de mobilidade automotiva dominados por combustíveis fósseis, particularmente em países com políticas agressivas de VE, como a Noruega (Skjølsvold; Ryghaug, 2020).	
9	Os subsídios ajudariam a estimular a implantação de VE e encorajar uma transição energética longe dos combustíveis fósseis porque eles têm o efeito de reduzir os custos de compra e operação. As emissões seriam reduzidas em um cenário de VE (Zhang; Hanaoka, 2021).	Do ponto de vista da oferta, os fabricantes também devem ser encorajados a investir mais em P&D de tecnologias de baixo carbono, a fim de trazer VE cada vez mais acessível e eficiente para o mercado comercial. Por exemplo, a 'Iniciativa Europeia de Veículos Verdes' tem sido um importante sistema de parceria público-privado desde 2008 (Harrison; Thiel, 2017).	Devido à dinâmica da competição de tecnologia, oferecer subsídios de compra de VE antes que todas as tecnologias estejam disponíveis pode levar ao aprisionamento da tecnologia e inibir a maturidade de longo prazo de tecnologias menos desenvolvidas (Harrison; Thiel, 2017).	O sucesso da Noruega, no contexto de altos padrões de vida, eletricidade barata e políticas ambientais favoráveis, é baseado em seu pacote de incentivos ao consumidor (Berkeley <i>et al.</i> , 2017).	Muitos governos que buscam reduzir as emissões de carbono e a dependência do petróleo, e dadas as preocupações com a qualidade do ar urbano, têm investido significativamente para apoiar a transição para uma automobidade mais verde e sustentável. (Berkeley <i>et al.</i> , 2017; Zhang; Hanaoka, 2021).	Os autores relatam o exame da correlação entre incentivos financeiros e participações de mercado de VE em 30 países que descobriu que incentivos financeiros, junto com o número de estações de recarga e a presença de produção de VE, são preditores fortes e significativos para sua adoção poderoso na promoção da adoção de VE (Bjerkkan, Kristin Ystmark; Nørbech; Nordtømme, 2016).

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
10			O trabalho de Morlock & Sawodny (2018) apresenta uma estrutura para um controlador econômico de cruzeiro para VE utilizando dados de velocidade de tráfego obtidos de um servidor na nuvem e objetivando aplicabilidade em tempo real. Em 2030, os veículos autônomos devem entrar em ação e o mais provável é que sejam elétricos e compartilhados (Mierlo <i>et al.</i>, 2021).	Resultados sugerem que estabilizar os preços das matérias-primas ou estimular as atividades de P&D em produtos químicos de bateria alternativos será importante para alcançar o transporte terrestre baseado em VE a um preço atraente (Hsieh <i>et al.</i>, 2019).	A redução dos riscos no planejamento futuro deve levar a uma difusão acelerada de VE no mercado e a atividades de P&D intensificadas (Wolf; Korzynietz, 2019). Estimular a pesquisa e a inovação e estabelecer fundos, competições ou missões para superar as barreiras percebidas (Sovacool <i>et al.</i>, 2019a).	Num futuro próximo, todos os veículos precisarão estar conectados entre si (comunicações V2V), e também à infraestrutura (V2I), para diferentes fins, como direção autônoma, gerenciamento inteligente de tráfego, prevenção de acidentes, recursos multimídia etc. (Sanguesa <i>et al.</i>, 2021).
11	Os formuladores de políticas apoiam a eletrificação do transporte rodoviário por várias razões - para diminuir a poluição do ar urbano e sonora, para mitigar as emissões de CO2 relacionadas ao transporte e para garantir o fornecimento de energia para a mobilidade dos cidadãos (Weiss; Cloos; Helmers, 2020).					

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
12	Os biocombustíveis resultam em emissões de CO₂ e poluentes do ar semelhantes ou mais altas do que os negócios normalmente, enquanto a eletrificação resultou em emissões significativamente menores de todos os tipos. As possíveis limitações encontradas incluem a quantidade de eletricidade consumida por veículos elétricos nos cenários de eletrificação (GLENSOR & MUÑOZ, 2019)	Os efeitos de bloqueio que sustentam a indústria de biocombustíveis podem induzir externalidades negativas nos VE. Aqui, a interação entre os regimes de indústria, energia e transporte e as instituições relacionadas é crucial (Kotilainen <i>et al.</i>, 2019).			O PROALCOOL foi criado com o objetivo de promover a produção de etanol e, assim, reduzir os impactos econômicos e ambientais da gasolina importada. O programa começou com uma mistura necessária de 10% de etanol anidro com gasolina em 1979, e chegou a 27% em março de 2015 (Glensor & Muñoz, 2019).	
13	Os VE reduzem a poluição apenas se uma alta porcentagem do mix de eletricidade vier de fontes renováveis e se a fabricação da bateria ocorrer em um local distante da região de uso do veículo (Vidhi; Shrivastava, 2018).	Uma transição V2G tem o potencial de permitir que países ao redor do mundo iniciem o processo de descarbonização de seus setores de transporte (Sovacool <i>et al.</i>, 2019b).	Os benefícios só podem ser percebidos se a implantação de carros elétricos for combinada com a difusão de energias renováveis no setor elétrico. Essas transições entrelaçadas criam um desafio para a integração da rede (Safarzyńska; van den Bergh, 2018).	VE privados podem reduzir os preços da eletricidade para residências (<i>alemãs</i>), uma vez que, ao nível da rede de distribuição, a demanda adicional de eletricidade aumenta a utilização geral da rede e reduz custos específicos (Kühnbach <i>et al.</i>, 2020).	No momento, as empresas de geração de energia renovável estão recebendo vários subsídios, mas a energia renovável precisará ser lucrativa para o fornecimento sustentável e confiável de eletricidade (Vidhi; Shrivastava, 2018).	Deve-se integrar a eletricidade com o sistema de transporte e permite que os veículos elétricos descarreguem eletricidade na rede (Vidhi; Shrivastava, 2018).

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
14	Como parte dessa política (<i>redução de poluição aérea</i>), o governo cria depósitos fora dos limites da cidade e permite que apenas veículos elétricos - que não causam poluição do ar - entrem na cidade (Vidhi; Shrivastava, 2018). No setor de transporte, essas iniciativas assumem a forma de soluções de mobilidade mais eficiente e ambientalmente sustentável (Lim; Taeihagh, 2019).		No entanto, a eficiência desses novos sistemas de transporte não pode ser garantida em uma cidade comum, pois na prática surgiram novos problemas, relacionados à distribuição de energia e organização do tráfego. Portanto, uma 'smart city' pode ajudar a alcançar essa visão (Aymen; Mahmoudi, 2019).	Com estratégias de carregamento inteligentes e o uso de eletricidade gerada por fontes renováveis (como solar fotovoltaica), os proprietários de veículos elétricos podem reduzir sua conta de eletricidade, bem como reduzir sua pegada de carbono (Rücker <i>et al.</i>, 2020). Aquisição de veículos com tecnologia com a qual até agora não existe experiência, especialmente no caso de centros urbanos provinciais muito pequenos, pode aumentar os custos do transporte público (Połom; Wiśniewski, 2021).	Os sistemas de trólebus na República Tcheca, Eslováquia, Romênia e Bulgária são desenvolvidos dinamicamente. Esses tipos de ações podem indicar às cidades menores que tomem medidas semelhantes (Połom; Wiśniewski, 2021). A "Declaração de Intenções do Ônibus Limpo", assinada por 26 cidades que representam o 'C40 Cities Climate Leadership Group' e apoiada por 10 cidades latino-americanas, é um bom exemplo de compromisso inter-regional e internacional (Bezruchonak, 2019).	Kobashi et al. (2021) propõem um conceito de 'SolarEV City', em que sistemas integrados de painéis solares fotovoltaicos no telhado das cidades e VE fornecem eletricidade livre de CO₂, acessível e descomplicada para moradores urbanos.
15	Os VE também são vantajosos (em relação aos ICV) em termos de eficiência energética, segurança energética, custos/km mais baixos, ruído e poluição do ar local (Bjerkkan, Kristin Ystmark; Nørbech; Nordtømme, 2016b).		Os PiEV têm sido defendidos em parte porque a eficiência do trem de força é significativamente maior do que os ICV e pode levar a reduções profundas na energia operacional e nas emissões de GEE (Ambrose; Kendall, 2016).		Resultados indicam que as variações nas taxas de ocupação de veículos e transporte individual motorizado têm um impacto significativo na eficiência energética, que atingiu 0,70 passageiro-quilômetro/MJ em Sorocaba, Brasil (Gonçalves <i>et al.</i>, 2020).	

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
16					Resultados (no uso de E-Bikes) sugerem que uma combinação de educação e treinamento em segurança no trânsito com a melhoria da infraestrutura existente é a melhor maneira de lidar com esse novo e generalizado fenômeno (Elias; Gitelman, 2018).	
17	O Plano Diretor de Transporte Santiago (<i>Chile</i>) 2025 visa gerar um programa coordenado de projetos, que inclua diferentes métodos e instituições que atendam aos seguintes objetivos: eficiência, transporte coletivo, equidade, sustentabilidade e segurança (Fernandez-Sanchez; Fernandez-Heredia, 2018).	Promova mais demonstrações e test drives, uma vez que a experiência com um VE está correlacionada com maiores preferências de adoção (Sovacool, B. K. <i>et al.</i> , 2019b).			Uso obrigatório de VE em táxis e outras frota (Sovacool, B. K. <i>et al.</i> , 2019b, 2019d).	

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
18		O aumento da utilidade do FCV pelo aumento do número de postos de abastecimento de hidrogênio devido aos subsídios leva a maior participação de mercado, assumindo quotas de outra forma atribuídas ao VE plug-in nos cenários comparativos (Harrison; Thiel, 2017).	No entanto, os BEV embora permitam emissões zero, apresentam restrições relevantes como a baixa autonomia e o tempo de recarga lento. Esses dois problemas podem ser superados considerando os veículos elétricos híbridos de célula de combustível (FCEV). Esta configuração híbrida tem algumas vantagens sobre o BEV como: aumento da autonomia, otimização do tempo de recarga da bateria e peso do veículo (Andaloro <i>et al.</i> , 2016).		Uma política forte de veículos elétricos plug-in (PiEV) poderia inibir a maturidade dos veículos de célula de combustível de hidrogênio (FCV). O fornecimento de infraestrutura é importante para melhorar a utilidade de um PiEV, mas descobrimos que no mercado inicial pode ter uma correlação mais fraca com a absorção do que outras opções de política, até que a participação do estoque de PiEV (nº de veículos) seja superior a cerca de 5% (Harrison; Thiel, 2017).	O estudo de Tena & Pregger (2018), exibe forte potencial de carregamento controlado e infraestrutura flexível de produção de hidrogênio para evitar picos de aumento de demanda e reduzir a restrição de energia renovável, resultando em redução dos custos de operação, geração e expansão da rede do sistema.
19	Os sistemas elétricos de compartilhamento de carros unidirecionais (one-way) oferecem uma opção ecologicamente correta para facilitar as necessidades de mobilidade urbana. No entanto, o gerenciamento de sistemas elétricos de compartilhamento de carros unilaterais apresenta desafios operacionais (Boyacı; Zografos, 2019).	O mercado global de compartilhamento de carros foi avaliado em US \$ 1,1 bilhão em 2015 e deve crescer para US \$ 6,5 bilhões até 2024 (Jung; Koo, 2018).	Ser capaz de fornecer previsões confiáveis dos tempos de vacância dos carros pode ser usado para otimizar o uso da frota de veículos compartilhados e levar a uma maior satisfação do usuário (Kostic <i>et al.</i> , 2021). Os veículos autônomos compartilhados são a próxima grande evolução na mobilidade urbana (Vosooghi <i>et al.</i> , 2020).	Em termos de custo para membros, em comparação com os serviços de táxi ou aluguel de carro com motorista (serviços de carona), os preços dos serviços de FFCS (free floating car sharing) são geralmente mais baixos (Ampudia-Renuncio <i>et al.</i> , 2020). Evitar essas despesas operacionais pode ser uma motivação para o motorista adotar o carsharing (Boyacı; Zografos, 2019).	Os sistemas de compartilhamento descooters e bicicletas eletrônicas estão acomodando e facilitando o aumento do tráfego em cidades densas e estão se expandindo consideravelmente. No entanto, esses novos modos de transporte de micro mobilidade levantam inúmeras questões operacionais e de segurança (Almannaa <i>et al.</i> , 2021).	

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
20		Vários estudos consideraram a penetração futura do mercado de VE, com estimativas de curto e longo prazo variando muito e a IEA sugerindo apenas 9% do estoque global de veículos leves em 2030 e 40% em 2050 (Harrison; Thiel, 2017).		A participação de VE está crescendo, mas somente marginalmente (Berkeley <i>et al.</i> , 2017a; Bigerna; Micheli, 2018; Sharma; Jain, 2020).		
21		A análise mostra que, em média, uma rede de distribuição padrão pode suportar 40% de penetração de veículos elétricos sem aumento de sua capacidade, sempre em caso de carregamento noturno lento (López-Sánchez <i>et al.</i> , 2020).	Com a alta penetração antecipada de recursos de energia distribuída e VE, o aumento da confiança no monitoramento e controle em tempo real é uma obrigação para a rede elétrica lidar com esses níveis sem precedentes de incertezas de carga (Mohamed, 2019). A smart grid é uma das infraestruturas mais promissoras para a melhoria do acesso à eletricidade (Rodríguez-Molina, Jesús <i>et al.</i> , 2020).	Um ótimo mecanismo de controle V2G e G2V foi oferecido (na literatura) para reduzir o impacto negativo dos VE na rede, minimizando o custo de carregamento (Tookanlou <i>et al.</i> , 2021). Assim, em comparação com uma taxa fixa, a programação integrada de resposta à demanda baseada em preço motiva os VE a carregar fora dos horários de pico e utilizar sua flexibilidade para nivelamento de carga e redução de pico (Sharma; Jain, 2020).	Se toda a frota de veículos se tornar elétrica, isso significaria apenas uma demanda adicional de eletricidade de 20% (exemplo da Bélgica) (Mierlo <i>et al.</i> , 2021). O rápido aumento no número de veículos elétricos provavelmente deteriorará os perfis de tensão e sobrecarregará as redes de distribuição. Controlar a programação de recarga de veículos elétricos de forma coordenada fornece uma solução potencial para mitigar problemas e pode adiar o reforço da infraestrutura de rede (Sun; Neumann; Harrison, 2020).	A implantação de painéis solares fotovoltaicos (PV) e VE está aumentando continuamente durante a transição energética urbana (Huang <i>et al.</i> , 2020). Concentrar-se mais no carregamento doméstico, em vez de expandir a rede existente de estações de carregamento de veículos elétricos públicos (Sovacool, B. K. <i>et al.</i> , 2019b).

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
22	Em função da pandemia da COVID-19 há grande incerteza sobre o futuro do transporte e da automobildade (Wang; Wells, 2020). Descobriu-se que os ônibus elétricos com carregamento sem fio têm melhor desempenho do que os ônibus a diesel em termos de emissões de carbono (Bi et al., 2016). As frotas de veículos comerciais desempenham um papel crucial na obtenção de uma difusão mais ampla e do impacto ambiental positivo dos VE (Globisch, Joachim; Dütschke; Wietschel, 2018).	A adaptação de máquinas agrícolas, por exemplo, aumentando o uso de VE, é uma forma de enfrentar esses desafios (crescimento populacional e meio ambiente). Embora o interesse em VE e agricultura sustentável esteja se tornando cada vez mais forte, na prática, o uso de VE ainda permanece em um nível relativamente baixo (Riedner et al., 2019).	Comparado com veículos individuais, a formação de pelotão (platooning) possui espaçamento de veículos menor, o que pode reduzir o consumo de energia ao diminuir a resistência do ar e simplificar as operações de controle do veículo. As tecnologias de sistemas de infraestrutura de veículos cooperativos (CVIS) fornecem auxílio para a formação e gerenciamento dos pelotões (Zhang, J. et al., 2019).	O custo de aquisição e os custos de operação dos VE geram uma certa estrutura de custos diferente em relação aos veículos a diesel. Os ônibus elétricos que usam baterias são energeticamente eficientes e também livres de emissões, mas, devido à tecnologia cara, os custos do ciclo de vida são consideravelmente mais elevados em comparação com os ônibus a diesel (Potkány et al., 2018).	A eletrificação de ônibus urbanos poderia ser incentivada através do fornecimento de financiamento direto às operadoras ou autoridades locais para comprar ônibus elétricos ou a infraestrutura de carregamento necessária. Além disso, nos casos em que as rotas sejam lícitas, estas poderiam ter a condição de serem operadas por veículos elétricos (Glensor, Kain; María Rosa Muñoz, 2019).	Enquanto isso, conforme os caminhões elétricos chegam ao mercado e seu alcance aumenta, sua influência relevante chave na rede de VE e autônomos será a necessidade de pontos de carregamento e, potencialmente, de estações de troca de bateria (Monios; Bergqvist, 2019).
23	Emissões veiculares de veículos com motor de combustão interna são um dos maiores contribuintes de poluentes atmosféricos (Vidhi; Shrivastava, 2018).				A produção de gases de combustão veicular, incluindo monóxido de carbono (CO), hidrocarboneto (HC), dióxido de enxofre (SO ₂), óxidos de nitrogênio (NO _x) e material particulado (PM) podem degradar a saúde pública (Rith; Fillone; Biona, 2020). Substituir os ICV de hoje por elétricos em frotas públicas pode causar um impacto profundo na qualidade do ar nas cidades (Fraile-Ardanuy et al., 2018).	Os VE, que são movidos a eletricidade, são considerados uma solução promissora para a poluição do ar à beira da estrada e danos à saúde associados, uma vez que cortam diretamente a poluição da fonte. Quando os VE são carregados por energia renovável, os VE podem fazer contribuições substanciais para as emissões de gases de efeito estufa (Huang et al., 2020).

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
24		A indústria automobilística (alemã) hesita em mudar seu modelo de negócios estabelecido e impediu qualquer mudança profunda. Além disso, os sindicatos estão entre os atores que estão retardando a mudança de carros baseados em combustíveis fósseis para veículos elétricos. (Richter; Haas, 2020).			No caso da transição para uma automobildade mais verde, por exemplo, uma gama de atores pode ser identificada, incluindo montadoras automotivas, empresas da cadeia de suprimentos, fornecedores de infraestrutura, governo, provedores de recursos financeiros e motoristas de automóveis (Berkeley <i>et al.</i> , 2017a).	Como os processos ‘bottom-up’ são essenciais, os formuladores de políticas, comunidades, indústrias e pesquisadores devem trabalhar juntos para construir esses sistemas, superando as barreiras sociais e regulatórias (Kobashi <i>et al.</i> , 2021).
25		A mobilidade tem um papel fundamental no desenvolvimento das atividades sociais e econômicas. Diversas análises econômicas mostraram uma correlação estrita entre desenvolvimento econômico e produto interno bruto, demanda de mobilidade, transporte de carga e degradação ambiental (Porru <i>et al.</i> , 2020).	Mobilidade como serviço é definido como uma transição de um paradigma sob o qual a funcionalidade de mobilidade é acessada através da compra de um produto, para um paradigma onde a funcionalidade de mobilidade é o resultado de um serviço movendo usuários de um local para outro, desassociado de qualquer requisito de propriedade de ativos, e normalmente organizado em uma base de viagem a viagem (Cooper <i>et al.</i> , 2019b).		Berg <i>et al.</i> (2019) sugerem intervenções como um transporte público satisfatório e melhor infraestrutura para ciclismo e caminhadas, bem como regulamentações de estacionamento mais rígidas, proibindo carros em certas áreas e tornando o uso e a propriedade do carro mais caros.	

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
26	Um aumento na demanda por lítio aumentará a mineração de lítio, já que menos de 1% do lítio pode ser reciclado hoje. Estima-se que cerca de 40% do lítio será reciclável em 2050, mas o lítio não reciclável terá um impacto prejudicial ao meio ambiente (Vidhi; Shrivastava, 2018).	O aumento no total de materiais necessários (<i>para a transição elétrica</i>) para atender à demanda projetada por minerais críticos é particularmente notável para o setor de transporte; estima-se que aumente em 350–700% entre 2015 e 2050 nos diferentes cenários da IEA (Abdul-Manan <i>et al.</i> , 2020).	No cenário analisado por Hsieh <i>et al.</i> (2019) em 2030 a demanda global de cobalto por baterias de VE (NMC811) alcançará aproximadamente 80% da produção total mundial de minas de cobalto de 2016, o que sugere que as montadoras podem precisar mudar para diferentes químicas de bateria.	Indústrias de mineração de lítio e fabricação de baterias terão que amadurecer para garantir o fornecimento barato de baterias (Vidhi; Shrivastava, 2018).		
27		Devido à eletricidade limitada da bateria, os motoristas de VE podem sentir desconforto durante um longo tempo de espera de carregamento. Diferente da tecnologia de carregamento plug-in, Cao <i>et al.</i> (2018) investigaram a tecnologia de troca de bateria para melhorar o conforto dos motoristas de VE.	Existem questões não resolvidas sobre a viabilidade da geração atual de VE, como carregamento rápido, alcance, falta de infraestrutura e carga da rede. Além disso, os impactos fora de pico de carga podem surgir da integração de VE com redes de eletricidade (Bigerna; Micheli, 2018).	A instalação de infraestrutura para cobrança de PiEV requer um investimento de capital significativo (<i>aumentando para carregadores rápidos</i>). Para países menos ricos como a Índia, a implantação de infraestrutura econômica é especialmente importante (Sheppard, Colin J. R. <i>et al.</i> , 2016).	Na estação de recarga de 350 kW, o tempo de recarga seria próximo ao tempo de reabastecimento de gasolina: cerca de 7 min. No entanto, deve-se observar que o tempo de carregamento também depende da bateria do veículo. Os carregadores de carga rápida (nível 3) são frequentemente encontrados em locais comerciais como hotéis, shoppings e áreas de estacionamento (Mierlo <i>et al.</i> , 2021).	Estima-se que 80% dos eventos de recarga ocorrerão com taxas de recarga lentas em casa ou no escritório. No entanto, para os 20% restantes, as opções de carregamento rápido para BEV ainda exigem paradas significativamente mais longas em comparação com outras (Ligen; Vruble; Girault, 2018).

Statements	Meio Ambiente	Cadeia Produtiva	Tecnologia	Custo	Ações Governamentais	Matriz Energética
28	E-Bikes e Micro Mobilidade (scooter, onewheel, segway) representam opções de transporte individuais que reduzem o tráfego com emissões zero e tornam mais fácil para as pessoas (Balacco <i>et al.</i>, 2021). Além disso, o uso de e-bikes traz benefícios diretos para a saúde dos usuários e reduz as emissões prejudiciais, como CO₂, NO_x e outros poluentes atmosféricos (Apostolou; Reinders; Geurs, 2018).			As melhorias na tecnologia da bateria resultaram no aparecimento de veículos elétricos pequenos e leves (LEV) no mercado na Europa desde 2011 - no entanto, sua participação no mercado ainda é comparativamente baixa. Os requisitos de baixa energia, o tamanho reduzido e custos baixos podem contribuir potencialmente para a mobilidade sustentável (Ewert <i>et al.</i>, 2020).	O ciclismo eletricamente assistido ou e-biking se manifesta como uma alternativa atraente para o deslocamento motorizado para aqueles para os quais o ciclismo convencional não é uma opção realista. Sua competição direta com o uso do carro significa que os esforços para aumentar o uso da e-bike deve ser direcionados aos usuários de carro (Plazier; Weitkamp; van den Berg, 2017).	A simbiose entre minigrids inteligentes e mobilidade elétrica tem o potencial de melhorar o custo e a confiabilidade do acesso à energia para comunidades fora da rede, ao mesmo tempo que fornece serviços de transporte de baixo carbono (Gammon; Sallah, 2021).

Anexo 3: Recomendações das entrevistas de validação (*Bullet points*).

Categoria	Data	Eixo	Recomendações importantes
Setor privado	21/09/2022	1	Pensar em produto se diferenciando de serviços. Ações de governos que servem de exemplos. Há uma proximidade entre os eixos 1 e o da mobilidade sistêmica.
		2	Projeto Profissionais do Futuro da PNME. Capacitação para profissionais da indústria. Educação do consumidor.
		3	As montadoras virão com poucos modelos de VE. Na Europa entraram com modelos somente elétrico. No Brasil teremos os híbridos. Serviços estão atrelados ao desenvolvimento de aplicativos.
		4	Aqui é produto. H ₂ pode ser um fator de custo.
		5	Dar os meios para as empresas investirem também.
		6	Fazer a divisão de produto e serviço.
		7	Atender os requisitos da B3.
Academia	29/09/2022	1	Talvez o maior incentivo seja trocar os veículos do transporte público por veículos elétricos ou híbridos
		2	Essa qualificação passa não somente pelos carros, mas também pela bicicleta elétrica
		3	Sim, não é somente a bateria elétrica, mas para todas as peças com a produção em escala onde poderia ter uma redução de custos
		4	Toda a infraestrutura no Brasil é um grande desafio
		5	Para mim a questão principal não são os deslocamentos, mas a supressão da demanda. O incremento da sensação de segurança e da segurança viária também.
		6	Não entendi por que a troca de experiências entre cidades está no meio ambiente, não em mobilidade urbana. Seria melhor no 6
Servidores Governo	06/10/2022	1	Nem os recarregadores têm uma tem uma normatização específica que, assim precisa de uma normatização específica que o governo deve liderar. Incentivos fiscais acho que também deveria ter, talvez por nichos o que seria mais interessante, ou seja, público e levíssimos que seja compartilhado. Por exemplo no BRT de Curitiba, eles estão tendo problema pois não há oferta de ônibus elétricos biarticulados. Assim eles estão pensando em um retrofit. E é outra questão que deve ser discutida no país também de você poder fazer retrofit no próprio veículo.
		2	Nesse ponto da requalificação de recursos humanos concordamos com tudo.
		3	Neste último momento a indústria nacional é totalmente importadora de tecnologia.
		4	A nova geração de baterias terá ganho de eficiência e o número de ciclo aumenta consideravelmente. O leasing da bateria não é um modelo de negócio ainda muito aplicável. Hoje não tenho uma infraestrutura de carregamento além de sua própria casa. Isso retoma sempre o primeiro item, que uma ação governamental.
		5	Mas ainda há várias questões pendentes como você mencionou essa questão de impostos. A tecnologia do hidrogênio talvez seja de maior futuro para carga

		6	Nós esperamos que haja mais espaço para a mobilidade ativa, mais ciclovias, mais espaço para o pedestre. O futuro é isso você deve fazer políticas em conjunto, mas fazendo políticas de restrição também, fazendo zonas de zero carbono.
		7	Quando eu tiver uma política pública voltada ao baixo carbono eu acho que o biocombustível é um fator importante. O Brasil como grande produtor de petróleo não pode abandonar essa produção. Não sei se caberia dentro deste teu trabalho uma recomendação de porta de entrada do processo regulatório, stakeholders. Uma unificação da política pública, que poderiam ser unificadas para toda a Esplanada por meio de uma diretriz única.
Academia	08/10/2022	1	A importância da normatização e regulamentação é fundamental, por já estar havendo cobrança. Acho importante o teu trabalho destacar o transporte coletivo. Existe assim um entrave nesta falta de conhecimento que precisa ser superado, como a possibilidade de treinamentos.
		2	Essa questão está bem colocada, mas a atuação nos recursos humanos vai até o vendedor do carro elétrico, pois há desconhecimento até no caso das distribuidoras
		3	O que você pode adicionar aqui é o que fazer com as baterias quando elas vão perdendo carga, ou seja, quando elas vão sendo descartadas, assim, uma linha de mercado olhando já para essa questão. Deve haver um modelo de negócio para a segunda vida da bateria. Por exemplo, a linceMCInça ambiental e todo o tempo necessário para que esse mineral entre na cadeia de valor e tudo isso é muito demorado. Isso é um problema sério. Mas de fato hoje o grande gargalo da segunda vida é o BMS e conhecer como está a saúde daquela bateria, pois eu tenho que dar garantias.
		4	Introduzir aqui esse conceito de transacionar energia isso pode reduzir o custo como um todo. E ainda tem a questão da fidelidade do cliente pois isso ele entra dentro do framework chamamos de controle da distribuidora. Isso deve ser uma livre negociação entre o consumidor e a distribuidora.
		5	Aqui nesse ponto nós precisamos ter uma ampliação do número de pontos de carregamento e é necessário um sistema de comunicação, pois há carregadores que a gente não sabe se estão ou não ligados.
		6	Eu compro a bicicleta mais barata sem a bateria e poderia trocar a bateria por um processo de troca com a prestação de um serviço. Isso também é um modelo de negócio que acaba incentivando. Temos uma infraestrutura ainda muito falha se comparada com os países mais desenvolvidos, pois os modelos estão todos escalonados.
		7	Nós sabemos que várias empresas têm dejetos e resíduos e, elas estão se preparando para usar o biogás. Mas é necessário um incentivo para a produção de energia elétrica a partir desses biocombustíveis ou a partir do hidrogênio.
Governo Assessor Legislativo	08/10/2022	1	Nós estamos diante de uma emergência climática importante neste momento. Nesse sentido a eletrificação da frota ou o desenvolvimento de uma tecnologia de hidrogênio verde para o desenvolvimento de uma frota que seja mais sustentável do ponto de vista ambiental. Para gerar créditos de carbono em relação aos investimentos que são feitos em energias renováveis. E para isso é fundamental que esses créditos de carbono eles tenham um processo de precificação global que permita a estabilização desse mercado.
		2	É muito importante que os processos de qualificação, que eles apontem na direção desta tendência global da matriz de energia renovável e da mobilidade elétrica e, acima de tudo, que os governos possam ter compreensão.

		3	Aqui somente tenho que acrescentar que isso seja colocado no orçamento geral da União na rubrica do Ministério de Ciência e Tecnologia, que precisa ser recriado e da pró atividade no âmbito da cooperação internacional
		4	Então, você tem toda uma cadeia produtiva de sistemas locais de produção que estão estruturados a base do veículo a combustão a base de combustíveis fósseis e que estão despreparados para essa disruptura.
		5	São editais de concessão de rodovias por 30 anos, que foram abertos em 2022, sem a previsão de nenhum ponto de eletro abastecimento
		6	Portanto, é imprescindível este papel de planejador de incentivo ao planejamento por parte de cidades e estados, e nesse ambiente, também seja inevitável a incorporação de novas tecnologias e especialmente a mobilidade elétrica.
		7	Sim, com certeza, bom aqui merece uma ênfase o hidrogênio verde e a transformação em escala global que será advinda do desenvolvimento da tecnologia do hidrogênio verde. Bom, assim os biocombustíveis, tanto o etanol quanto o biodiesel eles são importantes. Eles têm um papel a desempenhar.
Academia	17/10/2022	1	A gente trocando a mobilidade estamos reduzindo a energia fóssil. Essa seria uma vantagem do Brasil. Os veículos inicialmente serão caros, pois a escala é pequena. E é essencial também que haja definição de políticas urbanas de urbanização que as novas edificações tenham locais de abastecimento.
		2	Até a forma de dirigir é diferente. Nos caminhões a combustão existe um limite na razão entre peso e potência, de forma que a velocidade não se reduza muito.
		3	Essa parte dos acumuladores tem inclusive um problema ambiental, pois as baterias têm uma vida útil e o descarte delas é um problema.
		4	Redução dos custos pela escala e pela tecnologia. Nós temos que apostar em uma mobilidade pública. No meu campo de estudo nós temos que apostar em um transporte público com maior produtividade e eficiência econômica.
		5	No futuro teremos tantos postos de carregamento quanto temos hoje de combustíveis. Mas se o tempo demorar muito, haverá problemas se compararmos com os postos de combustíveis atuais.
		6	Esse transporte público que carrega grande número de pessoas deveria acelerar esse processo de transição energética. Isso pode ser financiado pode ter incentivos de subsídios na tarifa.
		7	O governo deve agir por uma causa maior e o meio ambiente é um elemento essencial. O que faz as coisas de moverem são as narrativas.
Setor Privado	18/10/2022	1	Então a lei já permite a cobrança o que existe hoje é uma dúvida sobre a questão tributária e depende muito do local da tributação, da cidade etc. Quando o pessoal começa a ter eletroposto em corrente contínua é impossível não cobrar, a não ser que exista um incentivo governamental, digo um subsídio por parte do governo. Eu coloquei painéis solares na garagem, mas infelizmente eles não estão ligados ainda. Eu estou completando um ano de negociação com a CEEE Equatorial, que é um problema sério. Tem que pagar com um cartão, certo? Não, na verdade tu paga no aplicativo. Tu colocas teu cartão de crédito no aplicativo e tem várias formas de se fazer isso. No Uruguai uma coisa interessante é que tu sabes se o carregador está ocupado ou não. Então é marcar o horário do carregador e ele está disponível só para ti naquele horário e tu já pagou a energia que tu

			vais utilizar. A maneira de evitar isso são carregadores mais potentes, mas são, hoje em dia, são caríssimos. O carregador que tu precisas ter em casa, teoricamente, não precisa ter um maior de 7 kW. Essa questão de tarifa diferenciada, eu vejo que não é a questão da tarifa da cobrança, pois tem gente que está disposta a gastar R\$4 a R\$5/kW se tu fores carregar o carro rapidamente e, o pessoal ainda vai elogiar o eletroposto. . E o incentivo fiscal que deveria existir, existe em parte para carros elétricos que não paga IPVA, que é algo interessante, mas para alguns estados é verdade. Então, na parte de incentivos o que eu vejo é que deveria haver alguns incentivos municipais também. Mas estão começando a vir os carros mais barato, sim. E a tendência é baixar como qualquer novidade. Inicia-se no topo e vem reduzido em função da demanda. Pois seria muito simples colocar carregadores de carro nas praças de pedágio nas licitações de estrada. Eu acho que o governo deveria pensar em tirar um pouco da tributação sobre esse tipo de equipamento, para viabilizar que a indústria nacional consiga vender para dentro do país e o pessoal pare de importar da China. Assim o ideal seria diminuir o custo tributário da operação isso ajuda.
		2	pois a maioria dos vendedores de carros não entende nada de instalação elétrica e orientam mal cliente sobre o carro. Eu acho que o pessoal que vende os automóveis deveria ter um treinamento específico para vender um carro elétrico, pois não é a mesma venda de um carro a combustão.
Academia	22/10/2022	1	A própria mobilidade não tem sido privilegiada dentro das ações governamentais. Você sabe que nós temos uma lei de mobilidade, que não é muito boa e ela não vem sendo aplicada. onde você tem que privilegiar o transporte ativo, a pé ou de bicicleta, e depois o transporte público. Existem tratados que o país teria que assumir, mas não vem cumprindo, de reduzir os GEE e o governo não vem fazendo isso, pelo contrário. E apresentaria assim uma campanha de conscientização para mostrar a importância. custo da energia no Brasil tem subido muito.
		2	realmente a mobilidade, ela tem que ser pensada junto com o planejamento urbano. que quer buscar essa descentralização espalhadas pelo território. De qualquer forma tem que haver toda uma capacitação pois a rede hoje de apoio é aos automóveis é imensa para cuidar de veículos a combustão e não, de veículos elétricos.
		3	Existe uma questão central no veículo elétrico que é a bateria. Eu tenho visto histórico de peso de baterias que pesam muito. Que se proteja mais a nossa indústria. Hoje essa coisa é aberta e você não tem como fazer nada, pois é totalmente sem proteção. Então tem que mudar um pouco a política pois todos os países têm algum tipo de proteção.
		4	Caberia ao governo possibilitar essa transição, se ele quiser evitar a falência dessas empresas.
		5	Nós temos uma rede de distribuição de combustíveis bastante extensa. Mas tem sido um pouco precário em relação ao gás.
		6	A interligação dessas centralidades que estão distribuídas no território é algo fundamental para o transporte público, inclusive de capacidade.
		7	O meio ambiente é uma das questões fundamentais
Setor Privado	17/11/2022	1	Eu concordo com todos esses itens. Inclusive com esse que tu comentaste aí, que eu acho que tem que ser obrigatório (carregadores em concessões de estradas). Aqui, a concessionária ela impõe desde a casa, a subestação, por exemplo, na minha região tem que ser uma casa do 4 m por 8 m por 4 m de altura. Tipo, assim, você tem que fazer um apartamento para colocar o transformador lá dentro e conseguir uma autorização da

			concessionária para ligar os carregadores. Essa demanda aqui na minha região hoje ela custa R\$ 33/kW, ou seja, eu vou partir de uma conta de luz R\$ 10.000 por mês sem demanda. Quando isso vai se pagar?
		2	O carro esportivo (luxo) é mais barato elétrico do que a combustão. Tem pessoas que reclamam do barulho, mas depois de 10 segundos você quer silêncio. É uma reeducação do consumidor.
		3	O carro mais vendido nos EUA e na Europa, hoje, é o Tesla, que há até 10 anos atrás não existia. Então, nós vamos ver uma migração da indústria da eletrônica indo fazer carro.
		4	Se isentarem 30% do carro importado, o carro elétrico importado vai ser mais barato que o a combustão nacional ou vai igualar. Daí, vai faltar infraestrutura, vai haver fila em carregadores elétricos.
		5	E só colocar aquele negócio na ANEEL, para não precisarmos pagar a demanda e, aquela coisa toda. Haverá demanda.
		6	Eu acho aqui que o Brasil ainda está um pouco distante disso pela cultura. E assim, sinceramente o Brasil tem problemas com a segurança.
		7	Tu pegas um elétrico ele é muito simples. e aí tu pegas um híbrido e tudo ele é duplamente complexo.
Setor Privado	18/11/2022	1	Todas as prioridades de incentivos fiscais deveriam estar voltadas ao transporte público. O transporte individual a gente não vê como responsabilidade do poder público.
		2	E é impressionante o avanço da tecnologia, pois no transporte público avançaria muito.
		3	Um dos problemas é a questão do descarte que tem chegado à gente como um problema sério para ser resolvido
		4	Fico imaginando qual o impacto da indústria como um todo, pois até que se tome adversário do desenvolvimento da transição pois está afetando diretamente a sua produção.
		5	Mas alguém vai ter que subsidiar esse excesso que tem aí né. E o que vai acontecer é você implantar uma rede, então... Ela para ser colocada tem que ter um planejamento logístico muito bem-feito. Aí, eu acho que é o grande desafio inicial. O problema é o automóvel, pois é uma coisa que a gente não tem nem controle de propriedade, quem que vai comprar ou não, e, nem o uso.
		6	Tanto que essa palavra mobilidade ela surge até como uma forma de luta para que a gente tenha uma informação do conjunto, pois antes a gente tinha é tudo dividido, o automóvel em um canto, o ônibus em outro, pedestre da rua em outro. E quando a gente fixa esse conteúdo, a gente começa a ver quanto é que custa o uso do automóvel, quanto é que custa o transporte público, agora a gente tem as bicicletas, temos as calçadas. Então, ele ficaria por volta de 30% em média no país e, ele ocupa de 80 a 90% do sistema viário.
		7	A gente chama de SUM, sistema único da mobilidade, e esse sistema único a ideia é exatamente isso. Então a gente poderia pegar toda essa uma política de eletromobilidade e a gente estaria atuando nos 3 níveis de junto.
Setor Privado	12/12/2022	1	Você tem instituições de comando e controle. Quando você estabelece, por exemplo, níveis de redução de emissões, a indústria corre atrás. Então, não me parece razoável diante da crise fiscal que nós temos e dos sinais de políticas públicas você dar qualquer tipo de sinalização favorável ao transporte individual. Se o Brasil tiver qualquer espaço fiscal, que esses incentivos sejam direcionados ao transporte público coletivo, que é um desafio da indústria nacional. A empresa ou comércio que implementasse bicicletário público eu daria um determinado incentivo e para quem implementar o fotovoltaico tem outro.

		2	Vai haver uma série de consequência do uso dessa nova tecnologia e o mapeamento de riscos de solução de resolução de problemas. Isso muda completamente. O fato de você não ter mais combustível circulando isso é importante. Há uma forma de dirigir o VE para não perder essa autonomia. Abrir um item para condutores.
		3	Tem de uma lei recente sobre todo o ciclo de vida de baterias, como você vai fazer essa reciclagem de materiais. E então, começa a sinalização da política pública para onde você vai: ou você vai você vai importar o veículo ou você vai produzir?
		4	Mas a estratégia do Chile é desenvolver a indústria. Eles estão pensando em não exportar mais simplesmente o Lítio, mas usar os minerais que eles têm lá para induzir a industrialização. A entrada no mercado da produção de baterias e componentes.
		5	Você não precisa de recurso público. Eu colocaria recurso público no desenvolvendo da tecnologia, do transporte público, naquilo que a gente conversou um pouco mais. Aqui tem uma grande participação para o mercado resolver, mas tens que dar uma sinalização clara.
		6	Não, é isso que eu estou falando é o típico exemplo bom, olha você simplesmente proíbe a entrada de veículos a combustão. Você não está envolvendo dinheiro ou recurso público, nada. É um comando e controle, simplesmente não pode e o poder público fiscaliza. Então, essa centralidade do transporte público na política de mobilidade e também na eletrificação, acho que é importante.
		7	Ter um padrão de planejamento convencional com deslocamentos casa -trabalho, com uma rede multimodal, para uma multifunção, pois agora é outra coisa. E a eletrificação entre nesse contexto é mais um “layer”, que a gente fala, é preocupação ambiental. Tu sabes que sobre essa questão do impacto ambiental, o principal locus é a descarbonização.
Governo	13/12/2022	1	Não sei se está previsto em alguns requisitos, mas eu senti falta um pouco da questão do estímulo para carregamento em estações de carregamento para veículos elétricos, os eletropostos.
		2	Eu que acompanho a energia solar, aqueles cursos técnicos, mas que foram muito importantes, mas está coberto aí de capacitação e não vejo nada a acrescentar.
		3	É aí, eu acho que deveria abordar, porque é uma questão que está muito latente, é a questão dos semicondutores.
		4	Eu acho que a questão tecnológica é um pouco diferente na questão da energia, pois na energia a gente vê a utilização do carvão até hoje. Embora tenha se falado que a gente fez a transição energética do carvão para o petróleo, mas na prática na geração de energia elétrica ainda se usa muito carvão
		5	Existia um programa lá na Califórnia chamado “Low Carbon fuel standard” e eles têm uma geração de créditos descarbonização, que é “low carbon fuel standard credits” para os postos que instalam carregadores elétricos, pois eles podem emitir esses créditos e vender no mercado.
		6	eu acho que teria que colocar o compartilhamento, pois acho que o compartilhamento me parece uma ação que tem que ser destacada. O “carsharing”, eu acho que seria bastante é interessante colocar
		7	diesel verde, que você pode usar 100% de diesel verde
Setor Privado	16/12/2022	1	Bem, quando você pensa em economia circular, que é uma das respostas para a maioria das coisas que nós estamos conversando, para a redução do custo. Então, assim, a meu ver um dos maiores desafios, pensando em um Big Picture, começa com um pensamento de economia circular. Aqui eu uso essa bateria numa segunda vida. Mas, essa visão de economia circular ela tem que estar também no carro, no restante das outras peças.

			Tenho que criar modelos de economia circular, onde eu tenha a possibilidade de reaproveitar, de reutilizar, de recuperar esses materiais, e devolver para a cadeia produtiva. Porque não pensar, vamos falar de outro R, de economia circular, o redesign. Por que que eu não penso no redesign do produto? Temos grandes indústrias não interessadas que a mobilidade prospere.
		2	Eu acho que há um papel importante das próprias montadoras nessa educação, como interessados.
		3	A mobilidade elétrica está adaptada à nova economia. Na nova economia, você faz tudo muito rápido.
		4	Mas, um fato é que os materiais terão muito impacto no custo!
		5	Veio a infraestrutura também. Dá para colocar as 2 coisas em paralelo, dá para você trazer o incentivo para quem compra e trazer ainda a infraestrutura, incentivar uma energia mais barata aquilo, por que não, uma energia gratuita inicialmente. O investidor tem que saber que está investindo, mas que ele vai ter retorno do investimento.
		6	Eu preciso da infraestrutura com segurança que me permita ir daqui para lá.
		7	Eu acredito que o trabalho que a ONU tem feito, os acordos climáticos, os acordos intersetoriais, tem sido importante nesse impulsionar de adoção de matrizes limpas.