

Cidades Inclusivas, Sustentáveis e Inteligentes (CISI)

Geografia produtiva da indústria de veículos de transporte público no Brasil e impacto da COVID-19 sobre as cadeias de fornecimento

Edgar Barassa



CEPAL



Trabalhando por um futuro produtivo, inclusivo e sustentável



cooperación alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

Deseo registrarme



NACIONES UNIDAS



www.cepal.org/es/publications



www.instagram.com/publicacionesdelacepal



www.facebook.com/publicacionesdelacepal



www.issuu.com/publicacionescepal/stacks



www.cepal.org/es/publicaciones/apps

Geografia produtiva da indústria de veículos de transporte público no Brasil e impacto da COVID-19 sobre as cadeias de fornecimento

Edgar Barassa



NAÇÕES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Este documento foi elaborado por Edgar Barassa, Consultor da Divisão de Desenvolvimento Produtivo e Empresarial (DDPE) da CEPAL, como parte das atividades do projeto “Cidades Inclusivas, Sustentáveis e Inteligentes no âmbito da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável na América Latina e no Caribe”, cluster 3 Política Industrial, executado pela CEPAL em conjunto com a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) e financiado pelo Ministério Federal de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha. O projeto faz parte do programa de cooperação CEPAL/BMZ-GIZ.

O Autor agradece especialmente a: Robson Ferreira da Cruz, que colaborou ativamente nos Capítulos 2 e 5 e trouxe contribuições relevantes para o entendimento de como a cadeia produtiva de ônibus urbanos no Brasil está organizada e suas competências; Lourenço Galvão Diniz Faria, cuja participação foi fundamental nos Capítulos 2 e 5, bem como no Capítulo 3, enriquecendo-os com suas perspectivas e contribuições ao entendimento de como a cadeia relacionada ao sistema de propulsão elétrico está sendo moldada e construída no Brasil e de que forma e medida sua integração aos ônibus urbanos vem sendo perceptível em suas novas tecnologias; Jorge Luís Ferreira Boeira pelo seu valioso trabalho no capítulo 4. Sua experiência e conhecimento nessa área colaboraram significativamente para explorar o potencial das cadeias de acumuladores de energia no Brasil.

As Nações Unidas e os países que representam não são responsáveis pelo conteúdo de links a sites externos incluídos nesta publicação.

Não se deverá entender que existe adesão das Nações Unidas ou dos países que representam a empresas, produtos ou serviços comerciais mencionados nesta publicação.

As opiniões expressadas neste documento, que não foi submetido a revisão editorial, são de exclusiva responsabilidade do autor e podem não coincidir com as da Organização ou as dos países que representa.

Publicação das Nações Unidas
LC/TS.2023/145
Distribuição: L
Copyright © Nações Unidas, 2023.
Todos os direitos reservados
Impresso nas Nações Unidas, Santiago
S.23-00993

Esta publicação deve ser citada como: E. Barassa, “Geografia produtiva da indústria de veículos de transporte público no Brasil e impacto da COVID-19 sobre as cadeias de fornecimento”, *Documentos de Projetos* (LC/TS.2023/145), Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), 2023.

A autorização para reproduzir total ou parcialmente esta obra deve ser solicitada à Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), Divisão de Documentos e Publicações: publicaciones.cepal@un.org. Os Estados Membros das Nações Unidas e suas instituições governamentais podem reproduzir esta obra sem autorização prévia. Solicita-se apenas que mencionem a fonte e informem à CEPAL tal reprodução.

Sumário

Introdução.....	11
I. Panorama geral dos ônibus urbanos no Brasil: tecnologias, dinâmica, mercado e políticas públicas.....	15
A. Explorando as tecnologias: um olhar sobre as características dos ônibus urbanos e suas arquiteturas no Brasil.....	15
B. Dinâmica do transporte público coletivo por ônibus no Brasil.....	21
C. Aspectos produtivos e de mercado (interno e exportação) dos ônibus urbanos no Brasil e suas características.....	23
D. Mercado internacional dos ônibus a diesel fabricados no Brasil.....	25
E. Arcabouço institucional: políticas que impactam o desenvolvimento do mercado de ônibus de baixa-emissão e de ônibus a diesel no Brasil.....	29
II. Cadeia produtiva de ônibus a diesel no Brasil: configuração, atores, redes e competências existentes.....	37
A. Caracterização dos veículos e suas arquiteturas.....	38
1. Breve histórico, principais marcos e visão geral das atividades e produtos.....	43
B. Cadeia produtiva de ônibus urbanos a diesel no Brasil.....	45
1. Cadeia produtiva de ônibus diesel no Brasil (upstream).....	46
2. Cadeia produtiva de ônibus diesel no Brasil (downstream).....	65
C. Considerações finais: Cadeia diesel com ampla competência e capacidade produtiva associadas a esta rota tecnológica no Brasil.....	66

III.	Cadeia produtiva dos ônibus elétricos no Brasil: configuração, atores, redes e competências existentes	71
A.	Mudanças e continuidades entre as cadeias produtivas de ônibus à diesel e de ônibus elétricos.....	71
1.	Fornecimento de insumos	72
2.	Powertrain.....	72
3.	Chassis e carroceria	73
4.	Outros sistemas relevantes.....	74
5.	Cadeia produtiva <i>downstream</i> (vendas de ônibus e componentes, cadeia de serviços e reparação, revenda).....	75
B.	Cadeia produtiva/valor dos ônibus a elétricos no Brasil.....	76
1.	Cadeia produtiva de ônibus elétricos no Brasil (upstream).....	78
2.	Cadeia produtiva de ônibus elétricos no Brasil (downstream)	90
C.	Considerações finais do capítulo: Cadeia produtiva de ônibus elétricos em construção e com competências em desenvolvimento	92
IV.	Potencial cadeia de acumuladores de energia (baterias) no Brasil: histórico, perspectivas, desafios e oportunidades	95
A.	Uma visão sobre a cadeia de valor das baterias de íons de lítio	95
1.	Caracterização dos recursos e notas conceituais sobre a tecnologia e fabricação de baterias de íons de lítio	95
2.	Estrutura da indústria de baterias de íons de lítio.....	99
3.	Tendências no mercado de baterias de íons de lítio	101
B.	Os indícios da formação de uma cadeia de valor de baterias de íons de lítio no Brasil	104
1.	Pesquisa, desenvolvimento e inovação	105
2.	Fornecedores de materiais básicos e processados de lítio.....	110
3.	Fornecedores de materiais ativos e células de baterias	117
4.	Fornecedores de módulos e pacotes de baterias.....	117
5.	Fornecedores de serviços de reciclagem.....	122
C.	Considerações finais: os limites e as possibilidades para a estruturação de uma cadeia de acumuladores de energia para ônibus elétricos no Brasil	124
V.	Comparação entre as cadeias diesel & elétrico: maturidade e implicações para o investimento em P&D, linhas de produção/montagem e competências em engenharia de produto/manufatura	127
A.	Investimentos em P&D.....	129
B.	Investimentos em Linhas de Produção (Tier 2 e Tier 2+X).....	131
C.	Investimentos em Linha de Montagem (OEM e/ou Tier ₁).....	133
D.	Competências de Engenharia de Produto.....	134

E.	Competências de Engenharia de Processo/Manufatura.....	136
F.	Considerações finais: as diferenças de prontidão tecnológica entre as cadeias de ônibus a diesel & elétrico no Brasil	137
	Referências bibliográficas	153
	Apêndice	165

Quadros

Quadro 1	Configurações de veículos de baixa emissão.....	16
Quadro 2	Renda e pessoal ocupado nas atividades de fabricação dos componentes estruturais dos ônibus.....	23
Quadro 3	Acordos internacionais vigentes associados à indústria automobilística brasileira.....	28
Quadro 4	Cadeia produtiva diesel – upstream (lista não exaustiva)	47
Quadro 5	Informações – Mahle	50
Quadro 6	Informações – Eaton.....	51
Quadro 7	Informações – Robert Bosch.....	52
Quadro 8	Informações – ZF.....	53
Quadro 9	Informações – Holset.....	53
Quadro 10	Informações – Lear	54
Quadro 11	Informações – PK Cables	55
Quadro 12	Informações – Leoni Automotive.....	55
Quadro 13	Informações – Mercedes-Benz.....	57
Quadro 14	Informações – Volkswagen Caminhões e Ônibus.....	59
Quadro 15	Informações – Volvo do Brasil.....	60
Quadro 16	Informações – Scania Latin America.....	62
Quadro 17	Informações – Marcopolo	63
Quadro 18	Informações – Caio Induscar	64
Quadro 19	Cadeia produtiva em construção dos ônibus urbanos elétricos no Brasil (não exaustiva)	77
Quadro 20	Informações – Dana.....	80
Quadro 21	Informações - Meritor.....	81
Quadro 22	Informações - WEG.....	82
Quadro 23	Informações - Suspensys	83
Quadro 24	Informações - Metalsa	83
Quadro 25	Informações - Globus Eletronics	84
Quadro 26	Informações - Rehem	84

Quadro 27	Informações - Valeo Thermal.....	85
Quadro 28	Informações - BYD.....	88
Quadro 29	Informações - Eletra	89
Quadro 30	Reservas globais de lítio.....	96
Quadro 31	Principais elementos da cadeia produtiva de baterias de íons de lítio	97
Quadro 32	Características do centro de P&D público - CETEM.....	106
Quadro 33	Características do centro de P&D público	107
Quadro 34	Características do centro de P&D público - ISI Eletroquímica.....	108
Quadro 35	Características do centro de P&D ITEM.....	109
Quadro 36	Características do centro de P&D da Poli-USP	110
Quadro 37	Características da empresa AMG Brasil.....	111
Quadro 38	Características da empresa CBL.....	112
Quadro 39	Características da empresa CBMM	114
Quadro 40	Características da empresa Latin Resources	115
Quadro 41	Características da empresa Sigma Mineração S.A.	116
Quadro 42	Características da empresa Baterias Moura	118
Quadro 43	Características da empresa Bravo Motor Company	119
Quadro 44	Características da empresa BYD	120
Quadro 45	Destaques da empresa BYD desde a sua fundação	121
Quadro 46	Características da empresa WEG S. A.	121
Quadro 47	Características da empresa Fundação Tupy	123
Quadro 48	Características da empresa Energy Source	124
Quadro 49	Sistemas veiculares diesel & elétrico presentes nas cadeias produtivas de ônibus urbanos.....	128
Quadro 50	Definição das notas para a análise comparativa e seus critérios.....	129
Quadro 51	Comparação estratégica entre os sistemas veiculares diesel & elétrico: Investimentos em P&D	130
Quadro 52	Comparação estratégica entre os sistemas veiculares diesel & elétrico: Investimentos em Linhas de Produção (Tier 2 e Tier 2+X)	132
Quadro 53	Comparação estratégica entre os sistemas veiculares diesel & elétrico: Investimentos em Linha de Montagem (OEM e/ou Tier1)	133
Quadro 54	Comparação estratégica entre os sistemas veiculares diesel & elétrico: Competências de Engenharia de Produto.....	134
Quadro 55	Comparação estratégica entre os sistemas veiculares diesel & elétrico: Competências de Engenharia de Processo/Manufatura	136

Quadro 56	Definições da escala Manufacturing Readiness Level MRL (Nível de Prontidão de Manufatura).....	138
Quadro 57	Agendas estratégicas elaboradas a partir dos dados levantados.....	142
Quadro 58	Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Planejamento e Governança.....	143
Quadro 59	Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Regulação.....	145
Quadro 60	Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.....	146
Quadro 61	Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Criação de Competências Produtivas.....	147
Quadro 62	Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Instrumentos de Financiamento e Fomento.....	148
Quadro 63	Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Infraestruturas.....	150
Quadro 64	Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Sinergias Tecnológicas.....	151
Quadro A1	Principais fabricantes de baterias automotivas instalados no Brasil.....	166
Quadro A2	Categorias de baterias a partir da química de cátodos e de ânodos.....	166
Quadro A3	Definições e conceitos gerais Manufacturing Readiness Level (MRL).....	167
Gráficos		
Gráfico 1	Evolução dos passageiros equivalentes transportados (viagens realizadas) por mês nos sistemas de ônibus urbanos (2013-2020).....	21
Gráfico 2	Impactos da COVID-19 no transporte público por ônibus: redução no número de passageiros transportados e redução da oferta dos serviços (março 2020-abril 2021).....	22
Gráfico 3	Impactos da COVID-19 no transporte público por ônibus: prejuízos do setor em milhões de reais (março 2020-abril 2021).....	22
Gráfico 4	Produção total de ônibus a diesel (chassis) no Brasil (2001-2021).....	23
Gráfico 5	Licenciamento de novos ônibus a diesel no Brasil (2000-2020).....	24
Gráfico 6	Participação no licenciamento de novos ônibus por empresas 2021.....	25
Gráfico 7	Exportações totais de ônibus a diesel (chassis) no Brasil (2000-2021).....	26
Gráfico 8	Exportações de carrocerias de ônibus a diesel (2005-2021).....	26
Gráfico 9	Participação das exportações por países de destino (2020).....	27
Gráfico 10	Comparação síntese entre os níveis de prontidão de manufatura nas cadeias diesel & elétrico para os ônibus urbanos no Brasil.....	139
Gráfico 11	Comparação síntese entre os níveis de prontidão de manufatura na cadeia de acumuladores de energia no Brasil.....	139

Figuras

Figura 1	Encadeamento e articulação dos capítulos e progressão do Projeto	12
Figura 2	Estratégia metodológica geral por fonte de dados/informações	13
Figura 3	Tipologia de ônibus de baixa-emissão	16
Figura 4	Tecnologias de recarga para ônibus elétricos	17
Figura 5	Tipologia de ônibus urbanos utilizada no sistema de transporte público coletivo de São Paulo	20
Figura 6	Políticas que impactam o mercado de ônibus de baixa-emissão e de ônibus a diesel no Brasil	29
Figura 7	Sistemas e subsistemas - Powertrain e chassi de ônibus diesel	39
Figura 8	Sistemas e componentes – motor de ônibus diesel	40
Figura 9	Sistemas e componentes – sistema de transmissão	42
Figura 10	Esquema de cadeia produtiva dos ônibus urbanos	45
Figura 11	Etapas e produtos da cadeia de valor de baterias de íons de lítio	98
Figura 12	Cadeia de valor de baterias de íons de lítio no Brasil	105
Figura 13	Prismas de análise dos sistemas veiculares diesel & elétrico	128

Lista de siglas e abreviaturas

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ACE	Acordos de Complementação Econômica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
BEB	<i>Battery Electric Bus</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
CBL	Companhia Brasileira de Lítio
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CKD	<i>Completely Knocked Down</i>
CODEMGE	Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais
EGR	Exhaust Gas Recirculation
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
EMDEC	Empresa Municipal de Desenvolvimento Econômico de Campinas
FABUS	Associação Nacional de Fabricantes de Ônibus
FCEB	<i>Fuel Cell Electric Bus</i>
FIEP	Federação das Indústrias do Estado de Paraná
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
FOB	<i>Free On Board</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GNV	Gás Natural Veicular
HEB	<i>Hybrid Electric Bus</i>
HVO	<i>Hydrotreated Vegetable Oil</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ITEEM	Instituto Edson Mororó Moura
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
MCI	Motor a Combustão Interna
MLP	<i>Multi-Level Perspective</i> (Perspectiva Multi-Nível)
NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
P4G	<i>Partnering for Green Growth and the Global Goals 2030</i>
PHEB	<i>Plug-In Hybrid Electric Buses</i>
PNA	Plano Nacional de Adaptação
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNMU	Política Nacional de Mobilidade Urbana
PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
RENOVABIO	Política Nacional de Biocombustíveis
SPE	Sistema de Propulsão Elétrico
SPTRANS	São Paulo Transportes
VLT	Veículos Leves sobre Trilhos

Introdução

Este estudo pretende analisar dados, informações e apontamentos a fim de responder as seguintes questões:

- Como está configurada a cadeia produtiva de ônibus urbanos no Brasil? Que tipo de estrutura, localização e dinâmica de mercado ela representa?
- Quem são os principais atores envolvidos nas atividades de manufatura e desenvolvimento de produtos no Brasil e quais são seus papéis? Quais são as abordagens de fabricação e formação de cadeia, seus limites e vantagens?
- Quais são os players e as forças que puxam a transição tecnológica para os ônibus elétricos no país? Que tipo de ações vem sendo empreendidas?
- Quais foram os impactos da COVID na cadeia tradicional de ônibus a diesel e na cadeia nascente de ônibus elétricos?
- Que tipo de políticas públicas são necessárias para alavancar a transição tecnológica e suportar as novas competências em manufatura que são requeridas? Quais são as implicações para a articulação de atores e que tipo de recomendações estratégicas são necessárias?

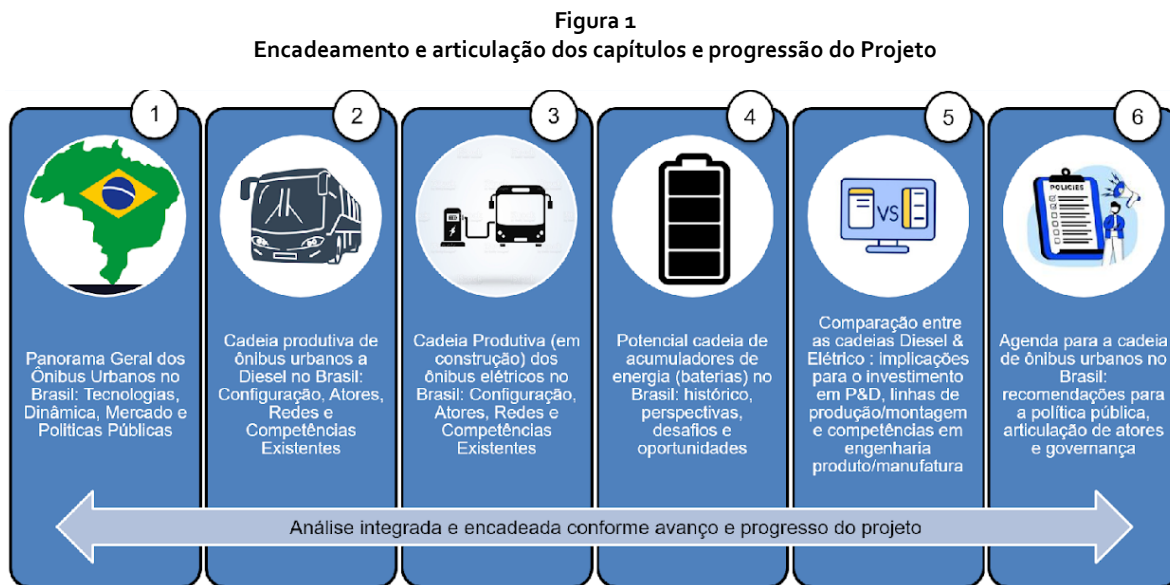
Em face às questões colocadas, o objetivo geral deste projeto é: investigar, descrever e analisar a cadeia produtiva para a fabricação de ônibus urbanos¹ no Brasil (tecnologias estabelecidas a diesel e nova trajetória “eletrificada”), caracterizando os atores destacáveis, redes estabelecidas, prontidão tecnológica e manufatureira, dinâmica setorial de mercado e arcabouço institucional.

¹ Ônibus urbano com foco no transporte público no Brasil.

Para o alcance deste objetivo geral, foram identificados seis objetivos específicos. São eles:

- i) Descrever a dinâmica de produção, mercado e políticas públicas para os ônibus urbanos a diesel;
- ii) Caracterizar e analisar a cadeia produtiva dos ônibus urbanos a diesel;
- iii) Mapear, caracterizar e analisar a cadeia produtiva (em construção) para os ônibus elétricos;
- iv) Investigar e analisar o "readiness level"² da cadeia produtiva local frente à manufatura de ônibus elétricos;
- v) Identificar os impactos da COVID para com a cadeia produtiva tradicional;
- vi) Identificar os desdobramentos para a política pública e apontar as recomendações e ações necessárias.

A figura 1 na sequência apresenta um esquema geral do encadeamento dos blocos temáticos e da articulação entre eles. Ela será seguida por um detalhamento dos procedimentos metodológicos gerais do projeto.



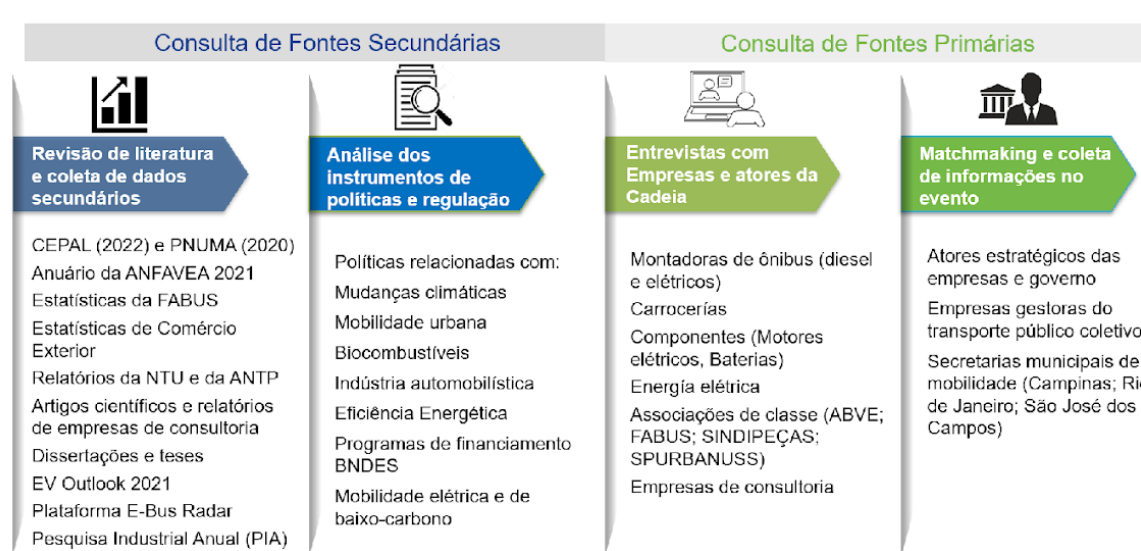
Fonte: Elaboração própria.

Procedimentos metodológicos

Considerando os objetivos apresentados, a figura 2 representa a estratégia geral para a elaboração deste estudo sob o ponto de vista dos seus procedimentos metodológicos que, no seu conjunto, permitem alcançar as informações necessárias aos respectivos capítulos. Para isso, combinam-se vários métodos de coleta de informações.

² Refere-se aos Níveis de Prontidão de Tecnológica (tradução nossa). Baseia-se na metodologia adotada pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) nos anos 1970 para avaliar a maturidade técnica de uma determinada tecnologia e ponderar sua evolução desenvolvimento para aplicações relacionadas.

Figura 2
Estratégia metodológica geral por fonte de dados/informações



Fonte: Elaboração própria.

Vale enfatizar que este projeto se apoia, principalmente, numa díade de (i) fontes secundárias e (ii) nas fontes primárias a partir dos dados coletados pelas entrevistas.

De forma complementar, trazemos também as impressões coletadas a partir do evento “*Match-Making: Encontro estratégico para acelerar investimentos em ônibus elétricos no Brasil*”, que ocorreu no dia 20 de maio de 2022 em São Paulo (SP). Organizado pela Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) e a Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), cujo objetivo foi promover e orientar um encontro estruturado para coordenação entre atores ligados à demanda por mobilidade urbana sustentável, e atores vinculados à oferta da indústria automobilística nacional e sua cadeia de valor³.

Por fim, também nos baseamos no estudo de Cruz (2022), que consistiu numa ampla revisão das principais experiências internacionais de países que desenvolveram mecanismos e instrumentos de políticas industriais para impulsionar a cadeia de ônibus elétricos (a saber, Estados Unidos, China, Holanda e México).

Desta feita, os resultados de cada uma destas frentes de pesquisa se somam e servem de insumos para a compreensão da dinâmica do ônibus urbano no Brasil. A seguir passamos para os resultados.

³ O encontro teve participação de 72 autoridades e lideranças na área de eletromobilidade no Brasil, dentre eles, tomadores de decisão do poder público municipal de São Paulo e de outros municípios, bem como do governo federal; de atores estratégicos da indústria de fabricantes de ônibus, peças, componentes, motores elétricos, equipamentos, baterias, infraestrutura de recarga e de energia elétrica; assim como de representantes de instituições-chave do sistema de financiamento e fomento nacional e do terceiro setor. Extraído de <https://www.cepal.org/pt-br/notas/autoridades-liderancas-apontam-caminhos-acelerar-investimentos-onibus-eletricos-brasil>.

I. Panorama geral dos ônibus urbanos no Brasil: tecnologias, dinâmica, mercado e políticas públicas

Este capítulo tem por objetivo descrever e analisar as tecnologias dos ônibus de baixa emissão, a dinâmica setorial de mercado e produtiva, e o arcabouço institucional de políticas públicas e instrumentos.

Trata-se de um ponto de partida para a análise subsequente que focará nas cadeias produtivas, tanto a de ônibus a diesel (já estabelecida) como a de ônibus elétricos (em construção). Para isso, primeiro, este capítulo apresenta uma breve contextualização das tecnologias dos ônibus de baixa emissão, sendo estes os artefatos centrais da análise deste projeto.

Esta caracterização é oportuna, pois posiciona o leitor já de partida acerca das mudanças e continuidades nos sistemas tecnológicos envolvidos. Na sequência, apresenta-se a dinâmica do transporte público coletivo por ônibus no Brasil, considerando a distribuição das viagens, a evolução dos passageiros equivalentes transportados e os impactos da covid-19 no transporte público por ônibus.

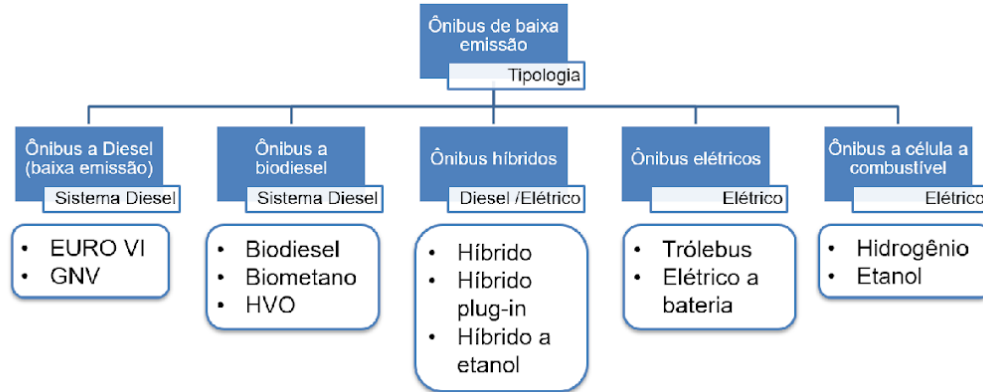
Em seguida, olha-se para os aspectos produtivos e de mercado (interno e de exportação) dos ônibus urbanos no Brasil e suas características e fecha-se o capítulo com o olhar para o arcabouço Institucional: principais políticas que impactam o mercado e cadeia dos ônibus de baixa-emissão e de ônibus a diesel no Brasil.

A. Explorando as tecnologias: um olhar sobre as características dos ônibus urbanos e suas arquiteturas no Brasil

A principal característica dos ônibus de baixa-emissão é o fato de gerar menos emissões de gases poluentes na atmosfera, em comparação a outros ônibus a diesel, como aqueles que atendem ao padrão pré-Euro VI, por exemplo, e que também, apresentam maior eficiência energética (BARASSA et al., 2022).

Na figura 3 a seguir mostra-se de forma esquemática a tipologia dos ônibus de baixa-emissão e suas principais características (BERMÚDEZ, 2018). Estes ônibus podem ser classificados em dois grandes eixos, sistema diesel e elétrico. Cada um deles, por sua vez, se ramifica e se recombina formando cinco categorias principais, de acordo com os combustíveis que utilizam e seus sistemas de tração.

Figura 3
Tipologia de ônibus de baixa-emissão



Fonte: Adaptado de Bermúdez (2018).

O quadro 1 na seqüência trata de aprofundar cada categoria, descrevendo suas características principais.

Quadro 1
Configurações de veículos de baixa emissão

Opções tecnológicas	Características
Ônibus com combustíveis fósseis de baixa-emissão	São ônibus com Motor a Combustão Interna (MCI), com tecnologias de motor Euro VI que atendem as metas máximas de emissão definidas pelas Normas Euro. Nesta categoria também se classificam os ônibus movidos a Gás Natural Veicular (GNV) os quais precisam de uma infraestrutura especial de abastecimento.
Ônibus movidos com biocombustíveis	São ônibus com MCI, mas que utilizam combustíveis alternativos como biodiesel, biometano e diesel de cana de açúcar.
Ônibus Elétrico a Bateria	Apresenta propulsão elétrica dedicada, cuja fonte energética provém da eletricidade. A energia elétrica que alimenta o motor é armazenada numa bateria e provém de uma fonte externa ao veículo (p. ex.: rede elétrica). Os trólebus também são considerados ônibus elétricos, mas a principal diferença é que utilizam um sistema de catenárias conectadas à rede aérea para abastecer-se de energia.
Ônibus Elétrico Híbrido	Veículos que apresentam em paralelo um motor elétrico, cuja energia é suprida por uma bateria e um motor à combustão convencional, abastecido pelos combustíveis líquidos (fósseis ou renováveis). Esta rota tecnológica se subdivide em diversas possibilidades (p. ex.: micro híbrido, híbrido série e paralelo), pois o motor à combustão pode ser suprido por uma diversidade de combustíveis – sendo que as configurações mais avançadas buscam uma integração com os biocombustíveis. A função das baterias é apoiar o MCI nos momentos de maior demanda de potência (aceleração) e nos momentos de menor rendimento do motor. Os ônibus híbridos podem ter três configurações diferentes: paralelo, série ou serie-paralelo ^a .
Ônibus Elétrico híbrido Plug-in	Veículos que combinam elementos do tipo híbrido e do elétrico puro. Sua bateria tanto pode ser alimentada por uma fonte interna, como um híbrido convencional, com um motor-gerador situado a bordo do veículo, quanto por fonte externa junto à rede elétrica.
Ônibus Elétrico a Células a Combustíveis (VECC)	Apresenta propulsão elétrica dedicada, cuja fonte energética provém de células a combustíveis, principalmente do hidrogênio, em vez de combustíveis líquidos. Estes veículos são semelhantes aos convencionais, mas usam tecnologias de ponta, o fuel cell stack. Esta tecnologia é responsável por transformar o hidrogênio em eletricidade, o qual alimenta o motor elétrico do veículo. Ademais, existem diversas configurações para fornecer e armazenar o hidrogênio – inclusive a partir de fontes renováveis (como, por exemplo, o etanol). Estes ônibus utilizam hidrogênio para produzir eletricidade numa célula a combustível. A eletricidade gerada é utilizada tanto para a propulsão, como para ser armazenada ao interior do ônibus por meio de baterias ou ultra condensadores. Estes ônibus precisam de uma infraestrutura especial para seu abastecimento. As células a combustível são muito eficientes e menos poluentes, mas seu custo ainda é elevado e não tem produção a escala.

Fonte: Adaptado de Bermudez (2018) e Barassa et al (2022).

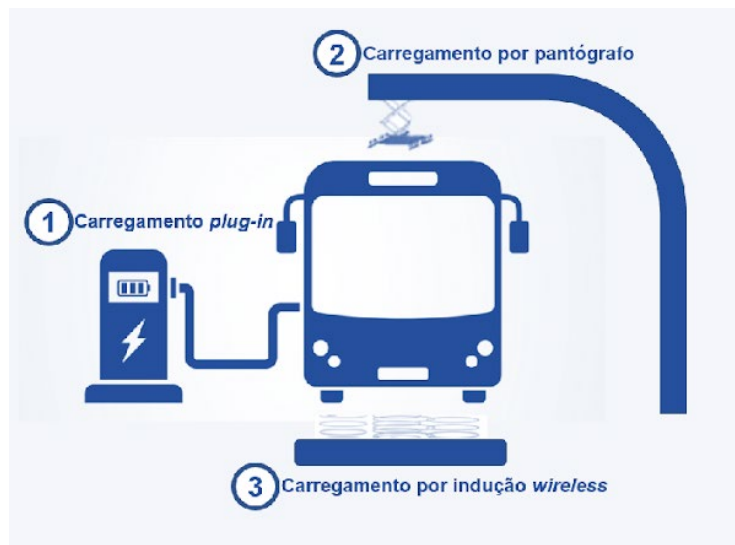
^aSegundo a tipologia do sistema de propulsão, o ônibus híbrido pode ser: i) Paralelo: o motor elétrico e o MCI estão acoplados à transmissão e simultaneamente transmitem energia para movimentar as rodas; ii) Serie: o motor elétrico é o único sistema de propulsão. O MCI e o gerador são utilizados para manter o estado da carga das baterias; iii) Serie-paralelo: combina as características do sistema paralelo e serie, o MCI e o motor elétrico estão acoplados à transmissão e às rodas, e também utilizam um gerador para verificar o estado da carga das baterias (YONG et al., 2015).

Com relação à infraestrutura para os ônibus elétricos, os sistemas de infraestrutura de recarga são dissemelhantes do modelo convencional dos ônibus urbanos a diesel, por serem abastecidos por fonte energética diferente. Neste caso, são classificados em dois tipos: i) Recarga rápida (fast charging), também conhecida como recarga de oportunidade; ii) Recarga lenta ou semi-rápida (IEA INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019).

A recarga de oportunidade insere a infraestrutura de recarga nos terminais, paradas ou durante as rotas dos ônibus. Este esquema é utilizado para ônibus com baixa autonomia e menor capacidade das baterias. Por sua vez, este tipo de recarga se classifica em dois tipos: pantógrafo ou sistemas indutivos. Os pantógrafos precisam de maior disponibilidade de espaço público para sua instalação, já que demandam uma subestação de energia dedicada. Os sistemas indutivos ainda estão em desenvolvimento e são de alto custo (ELECTROMOV, 2019).

Em relação à recarga lenta, semirrápida e rápida, a infraestrutura pode ser instalada nas garagens dos ônibus e as recargas são feitas durante a noite, quando os ônibus não estão em serviço. Este esquema se utiliza para ônibus com maior autonomia e capacidade das baterias. Para isto, se utilizam carregadores tipo plug-in que são os mais utilizados pelos ônibus elétricos urbanos. Na figura 4, na sequência, se apresentam as diferentes tecnologias de recarga para ônibus elétricos.

Figura 4
Tecnologias de recarga para ônibus elétricos



Fonte: Elaboração própria.

Assim, verifica-se que os ônibus elétricos apresentam tecnologias substancialmente distintas às existentes nos veículos propulsionados por motores a combustão interna. Sua base é fundamentada em componentes eletroeletrônicos, ao invés de sistemas predominantemente mecânicos, como é o caso dos veículos dotados de motores a combustão interna. De fato, essas diferenças são escopo de investigação e representam o objeto de pesquisa neste estudo, com foco na cadeia produtiva, onde as diferenças e competências necessárias também se tornam perceptíveis.

Por exemplo, tem-se o *Powertrain*, que se caracteriza por um conjunto de tecnologias e componentes que estão acoplados entre si e são responsáveis por gerar a força que será transmitida às rodas e, assim, resultará na tração do veículo. Neste sistema, o MCI perde seu protagonismo, paradigmático na indústria automobilística, ao dar lugar a um motor elétrico. Nestes motores, por meio

da indução eletromagnética, as partes principais dos motores elétricos (estatores e rotores) realizam o seu movimento gerando energia cinética que será transferida às rodas por meio de uma transmissão. Além dos motores elétricos, a eletrônica de potência, o hardware e o software de controle, cabos e conectores demonstram papel fundamental na orquestração e funcionamento do *Powertrain*, controlando-o e articulando este sistema junto a outras partes do veículo.

Os acumuladores de energia, por seu turno, são tecnologias que armazenam energia elétrica. No caso da mobilidade elétrica, apresentam-se predominantemente na forma de baterias, ainda que seja possível identificá-los também em tanques de hidrogênio nos sistemas a células a combustível. Trata-se do artefato mais crítico deste sistema, pois aspectos inerentes ao desenvolvimento tecnológico das baterias não estão plenamente equacionados, prevalecendo ainda um custo elevado de produção ante ao veículo como um todo (aproximadamente 50%, sendo que há menos de 10 anos, representava 70%). Além disso, a autonomia das baterias ainda é inferior se comparadas aos veículos tradicionais, trazendo o efeito do “*range anxiety*”, ou da ansiedade por autonomia, e medo, por parte do usuário, de esgotar a bateria no decorrer de seu trajeto.

Também é preciso levar em conta as diferentes rotas tecnológicas que as baterias apresentam em relação aos elementos químicos das células que as compõem. Aponta-se como uma rota promissora aquela baseada no lítio, contudo, há uma ampla aplicação também de componentes como ferro fosfato, sódio, níquel-cádmio entre outros elementos que se aglutinam e reconfiguram diferentes possibilidades de baterias.

Assim, os combustíveis de origem fóssil, tal como os derivados do petróleo (como a gasolina, o diesel e o gás natural veicular (GNV)), também perdem funcionalidade, haja vista que a alimentação do motor passa a ser efetuada pela energia armazenada nas células da bateria automotiva.

O funcionamento das baterias se dá por meio de processos químicos (oxidação e redução), que permitem a passagem de corrente elétrica entre seus sistemas e direcionam esta energia para a tração elétrica, desempenhada pelo sistema de *Powertrain*.

Em virtude da base tecnológica diferente, o paradigma da eletromobilidade impacta diretamente diversas cadeias de componentes automotivos, notadamente os motores a combustão interna, os quais, embora mantidos nos veículos híbridos, são suprimidos nos veículos elétricos a bateria.

Por isso, dadas as características específicas do sistema de propulsão elétrico (SPE) que compõem os ônibus elétricos a bateria, observa-se a incorporação de um número consideravelmente menor de peças e partes móveis do que nos veículos convencionais, movidos a combustíveis fósseis.

Uma série de componentes como, por exemplo, catalisadores, motores de partida, velas, correias dentadas, lubrificantes, tubos e conexões, que são fundamentais para o funcionamento do sistema dos motores a combustão interna, tornam-se igualmente desnecessários e deixam de compor o conjunto de tecnologias que abarcam os veículos elétricos. Soma-se a este fato a incorporação de sistemas de transmissão mais simples e a eliminação do sistema de exaustão, visto que esses veículos não emitem poluentes. Os capítulos 2 e 3 irão aprofundar essa discussão, especificamente.

Os ônibus híbridos residem na interface entre a nova tecnologia de propulsão e o paradigma vigente. Neste caso, continuam-se os componentes já estabelecidos mencionados acima e somam-se aqueles relacionados ao SPE em um sistema robusto de operação, que permite o aproveitamento das tecnologias, competências tecnológicas e capacidades produtivas já existentes no MCI e abre-se para o acoplamento das novas tecnologias da eletrificação.

Já os sistemas a células a combustíveis encontram-se em fase de desenvolvimento e prototipagem, com poucos modelos de veículos em comercialização. Dada a complexidade de sua operação, que transforma hidrogênio, via células a combustível, em energia elétrica, figura-se como a tecnologia mais cara de ser produzida em comparação com as demais. Esta tecnologia tem obtido certo suporte de algumas montadoras asiáticas, como Hyundai, Toyota e Honda, pois ampara-se em algumas

vantagens proporcionadas em relação ao veículo elétrico a bateria, como a maior autonomia (cerca 600 a 700km em única carga) e o tempo de abastecimento substancialmente reduzido, similar aos veículos tradicionais a combustão em que se realiza a recarga em alguns minutos. Contudo, seus projetos encontram-se permeados por incertezas quanto a sua continuidade para automóveis, por exemplo, uma vez que os elétricos puros têm conseguido, de maneira satisfatória, dar respostas aos seus principais gargalos, como a baixa autonomia e elevado tempo de recarga, e assim, colocando-se como uma opção ante aos sistemas a células a combustível.

Este conjunto de tecnologias contempladas pelo sistema de propulsão elétrico permite que os ônibus elétricos operem com maior eficiência energética, não produzam poluição sonora, não dependam de combustíveis fósseis e apresentem níveis reduzidos de emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos (no caso dos veículos híbridos), ou nulos (no caso dos veículos elétricos a bateria), contribuindo, assim, para a mitigação das mudanças climáticas, descarbonização da matriz de transportes e para a melhora da qualidade do ar e da saúde pública, principalmente nos grandes centros urbanos.

Observa-se que, ao mesmo tempo em que a eletromobilidade permite um padrão de mobilidade mais sustentável, cria também diversas oportunidades para a entrada de novos players no setor assim como para a incorporação de novos setores. Em outras palavras, face às novas tecnologias assimiladas no SPE, abre-se espaço para a participação de novos atores e setores, que outrora não participavam do complexo automotivo. Como exemplos de setores inseridos nesta nova dinâmica tem-se o setor elétrico, fundamental no estabelecimento da infraestrutura de recarga para o abastecimento dos veículos, e o setor eletroeletrônico, responsável pela oferta de componentes, dentre os quais se destacam os motores elétricos e, mais particularmente, os acumuladores de energia e as baterias automotivas, sistemas-chave para o SPE.









Dada essa dinâmica intersetorial, observa-se a estruturação de novas articulações entre os atores que compõem os setores e indústrias relevantes para este segmento veicular, particularmente a indústria automotiva e os setores eletroeletrônico e elétrico. A interação e o estabelecimento de novas associações entre esses atores favorecem o surgimento, a expansão e a consolidação de novas redes, as quais emergem com vistas a superar diversos desafios tecnológicos vinculados à essa dinâmica. Ainda, há que se ponderar o papel dos desenvolvedores de soluções de gerenciamento de eletropostos e conectividade veicular, que fornecem soluções integradas para que o usuário consiga, por meio de aplicativos e outros softwares, integrar seu veículo à rede elétrica (BARASSA, 2019).

Assim, o avanço da eletromobilidade condiciona novos desafios que transcendem a esfera técnica e elevam-se ao plano do arcabouço institucional, dado que as instituições associadas ao segmento passam a captar esse movimento e a evoluir conjuntamente nesta trajetória tecnológica, proporcionando novos instrumentos de estímulo e ações que apoiam e sustentam o desenvolvimento dos veículos elétricos e tecnologias associadas, assim como a expansão do mercado deste segmento veicular.

E como integrar as novas tecnologias nos ônibus urbanos? Quais são suas características? Na sequência, será abordado esse ponto ao apresentar-se as principais arquiteturas de ônibus urbanos utilizada no sistema de transporte público coletivo no Brasil.

É importante salientar que no segmento de ônibus urbanos há tipologias de ônibus com diferentes tamanhos e capacidade de passageiros transportados. Cada tipo de ônibus tem que cumprir com um conjunto de padrões técnicos e características básicas para operar nas cidades, de forma a garantir condições de segurança, conforto e mobilidade aos seus condutores e passageiros. Os padrões técnicos em geral são definidos pelas Prefeituras Municipais através das Secretarias de mobilidade e das empresas gestoras do sistema de transporte público coletivo. Na figura a seguir, se apresenta a tipologia de ônibus urbanos para São Paulo, referência nacional nesse sentido e cidade com a maior frota em operação no país. Ainda, as características do cumprimento dos ônibus e passageiros transportados seguem um padrão internacional.

Figura 5
Tipologia de ônibus urbanos utilizada no sistema de transporte público coletivo de São Paulo

Tipo de Ônibus Urbano	Peso bruto Total mín. (ton)	Comprimento Total (m)	No. de Portas	Passageiros Sentados (média)	Área de Passageiros em pé (m ²)	Capacidade Total (média)
Miniônibus	9	8,6 a 9,0	2	20 (Ref. 8,6 m)	3,40	35
						
Midiônibus	14	9,6 a 11,5	3	25 (Ref. 9,6 m)	4,70	54
				33 (Ref. 11,2 m)	5,70	68
Básico	16	11,5 a 12,5	3	35 (Ref. 12,5 m)	6,40	74
						
Padron	16	12,5 a 15,0	4	32 (Ref. 13,3 m)	9,4	87
			5	38 (Ref. 15 m)	11,8	110
Padron Elétrico a Bateria	16	12,5 a 15,0	3	30 (Ref. 12,9 m)	6,9	72
			4	25 (Ref. 12,9 m)	7,42	71
			5	38 (Ref. 15 m)	8,84	92
Trólebus ^a	16	12,5 a 15,0	n.d	34 (Ref. 12,5 m)	n.d	82
			n.d	45 (Ref. 15 m)	n.d	97
Articulado	26	18,2 a 23,0	6	37 (Ref. 18,5 m)	15,2	129
				54 (Ref. 23 m)	19,8	174
Biarticulado	36ge	< 27	6	53 (Ref. 27,1 m)	24	198
						

Fonte: Manual dos Padrões Técnicos de Veículos SPTrans (SPTRANS; SECRETARIA DE MOBILIDADE E TRANSPORTES CIDADE DE SÃO PAULO, 2019; SPTRANS; SECRETARIA DE MOBILIDADE E TRANSPORTES PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2018).

Nota: Todos os ônibus urbanos devem ter 1 área reservada para cadeira de rodas. n.d: Informação não disponível.

^a As informações sobre as características dos trólebus foram extraídas da empresa Eletra (ELETRA, 2021).

B. Dinâmica do transporte público coletivo por ônibus no Brasil

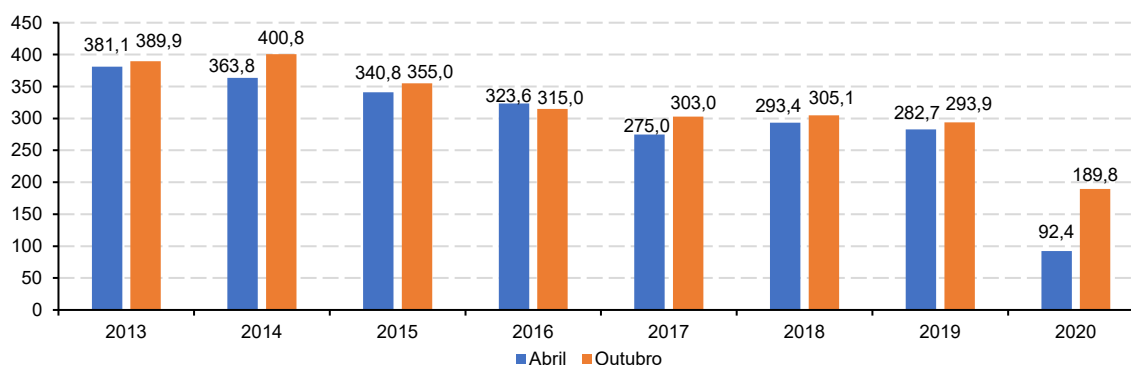
Nesta seção se apresenta um contexto geral sobre o transporte público coletivo, por ônibus urbano no Brasil, assim como os impactos decorrentes da pandemia da COVID-19 no número de passageiros transportados e o prejuízo financeiro das empresas operadoras de frotas.

O transporte público coletivo no Brasil é composto principalmente por quatro modais de transporte: os ônibus urbanos e os trilhos urbanos que incluem o Metro, Trem e os VLT (veículos leves sobre trilhos). Contudo, são poucas cidades no Brasil que têm trilhos urbanos operando como sistema de transporte público.

Segundo dados da Associação Nacional das empresas de Transportes Urbanos (NTU), na distribuição das viagens por modo de transporte, a maioria é feita a pé (39%), no segundo lugar está o transporte coletivo (28%), automóveis (26%), motocicleta (4%) e bicicleta (3%). Das viagens feitas no transporte coletivo, 85,7% são realizadas via ônibus urbanos e o 14,3% restante em trilhos urbanos. Assim, os ônibus urbanos são o modo de transporte público coletivo mais representativo do Brasil (NTU (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2021a).

Muito embora os ônibus urbanos sejam extremamente relevantes para a mobilidade nos municípios, observa-se uma queda acentuada na quantidade de viagens realizadas por passageiros pagantes, conforme disposto no gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1
Evolução dos passageiros equivalentes transportados (viagens realizadas) por mês nos sistemas de ônibus urbanos (2013-2020)



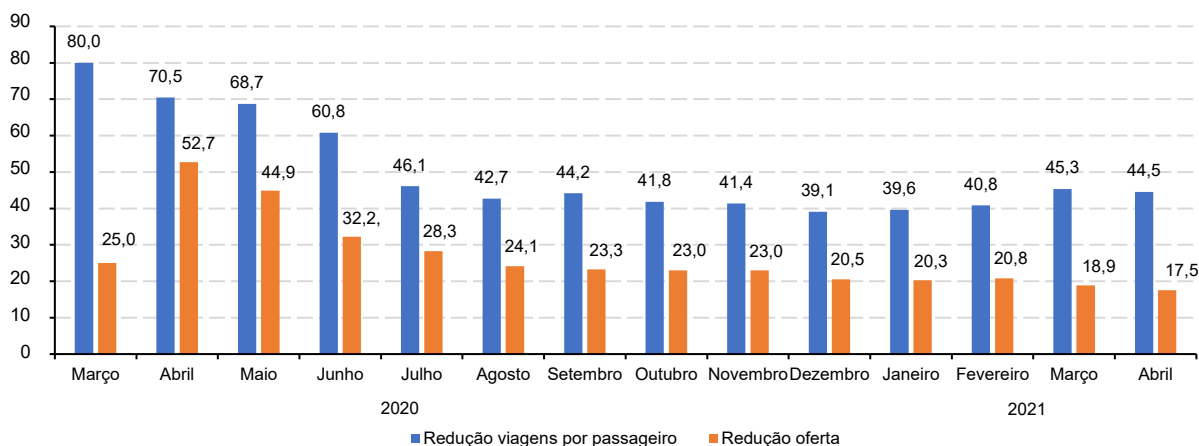
Fonte: Extraído de (NTU, 2021).

Uma parte da queda de passageiros no transporte público está associada ao uso de novos sistemas de transporte individual (aplicativos e serviços compartilhados), as altas tarifas dos ônibus e ao aumento do transporte ativo (bicicleta, deslocamento a pé). Ainda, os usuários apresentam uma série de questionamentos sobre a qualidade do serviço oferecido, sobretudo em relação ao tempo de espera, ao tempo dos deslocamentos e a insuficiência de corredores e faixas exclusivas, que fazem com que o serviço seja ineficiente em comparação a outros modos de transporte.

Outra justificativa para a queda de passageiros é devido às restrições impostas na mobilidade pela pandemia de COVID-19, e consequentemente o aumento do home office. Segundo os dados da NTU (2021b), nas duas primeiras semanas da pandemia, entre 16 e 31 de março de 2020, a quantidade de viagens realizadas por passageiros (demanda) chegou a cair 80%.

Em relação à oferta dos serviços, segundo os dados da NTU (2021b), a redução de oferta atingiu seu pico em abril de 2020, com 52,7%.

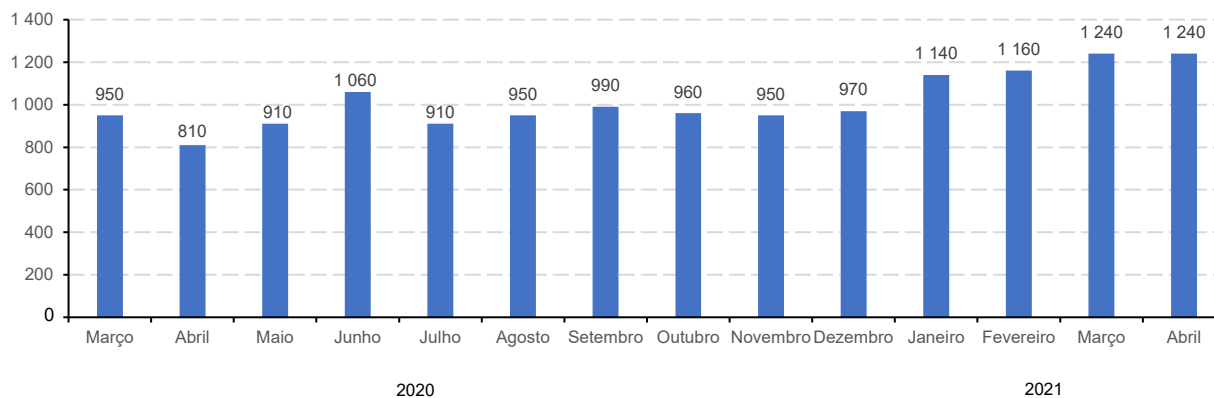
Gráfico 2
Impactos da COVID-19 no transporte público por ônibus: redução no número de passageiros transportados e redução da oferta dos serviços (março 2020-abril 2021)
(Em porcentagens)



Fonte: Extraído de (NTU, 2021b).

A queda do número de passageiros pagantes trouxe uma importante externalidade negativa para as operadoras: redução drástica das receitas. O gráfico 3 a seguir apresenta o prejuízo mensal das operadoras de frota no período de 16 de março até 30 de abril de 2021. Desde o começo da pandemia, o prejuízo real acumulado foi de R\$ 14,24 bilhões.

Gráfico 3
Impactos da COVID-19 no transporte público por ônibus: prejuízos do setor (março 2020-abril 2021)
(Em milhões de reais)



Fonte: Extraído de (NTU, 2021b).

Ainda de acordo com a NTU (2021b), além do impacto financeiro, houve outras consequências negativas relacionadas à interrupção da prestação do serviço por parte das empresas operadoras⁴, a saber: encerramento de postos de trabalho, greves, protestos e manifestações.

⁴ Tipos de interrupção da prestação do serviço: i) Suspensão das atividades: empresa operadora oficializou ao poder público a suspensão temporária das atividades por incapacidade de cumprir com o pagamento de salários ou com a compra de combustível, por exemplo; ii) Encerramento das atividades: empresa operadora oficializou o encerramento definitivo das atividades; iii) Intervenção na operação: poder público assume as responsabilidades de administração e operação da empresa operadora; iv) Suspensão de contrato: rompimento unilateral de contrato (NTU, 2021b).

Assim, viu-se que o lado da demanda foi amplamente impactado por essas transformações, e nesse sentido outra questão emerge: e o lado da oferta? Como foram afetadas as atividades produtivas e de mercado nesse momento? A próxima seção trata dessas questões.

C. Aspectos produtivos e de mercado (interno e exportação) dos ônibus urbanos no Brasil e suas características

A fabricação de ônibus no Brasil é umas das principais atividades produtivas da indústria automobilística brasileira e tem um impacto importante na geração de emprego e de renda. No quadro 2 a seguir é apresentado o valor da renda gerada e o número de pessoas ocupadas nas atividades relacionadas à fabricação de ônibus.

Quadro 2
Renda e pessoal ocupado nas atividades de fabricação dos componentes estruturais dos ônibus

Classificação IBGE	Descrição	Renda (R\$/Ano de 2018)	No. de pessoas ocupadas
2920	Fabricação de caminhões e ônibus	9 112 868 609	15 729
2920.2080	Chassis com motor para ônibus	4 104 819 251	7 085
2920.2100	Ônibus, inclusive CKD	1 173 623 751	2 026
2930.2050	Carrocerias para ônibus	3 834 425 608	6 618

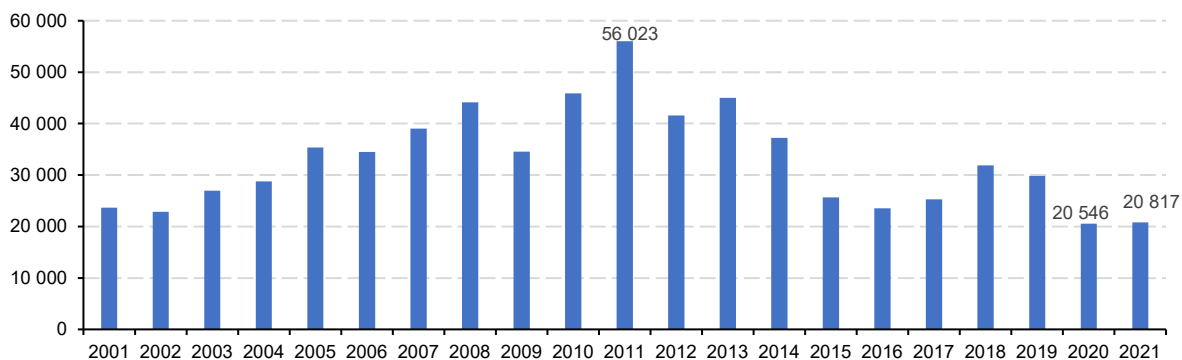
Fonte: ANTP (2020) com dados do IBGE (2020).

No que diz respeito a produção total de ônibus no Brasil, o gráfico 4 na sequência apresenta a dinâmica da produção dos ônibus montados e desmontados (CKD), entre 2001 e 2021.

Entre os anos 2000 e 2011, observa-se um crescimento exponencial na produção de ônibus, alcançando uma marca histórica de 56.023 unidades produzidas em 2011. A partir do ano 2012, identifica-se uma queda na produção, com uma leve recuperação entre 2017-2019.

A tendência de queda na produção agravou-se com a crise econômica gerada pela pandemia de COVID-19, quando a produção de ônibus foi a menor dos últimos 20 anos, totalizando apenas 20.546 unidades em 2020. Entretanto, no ano de 2021, a produção de ônibus apresentou um leve crescimento de 1,31% em comparação ao ano de 2020.

Gráfico 4
Produção total de ônibus a diesel (chassis) no Brasil (2001-2021)
(Unidades)

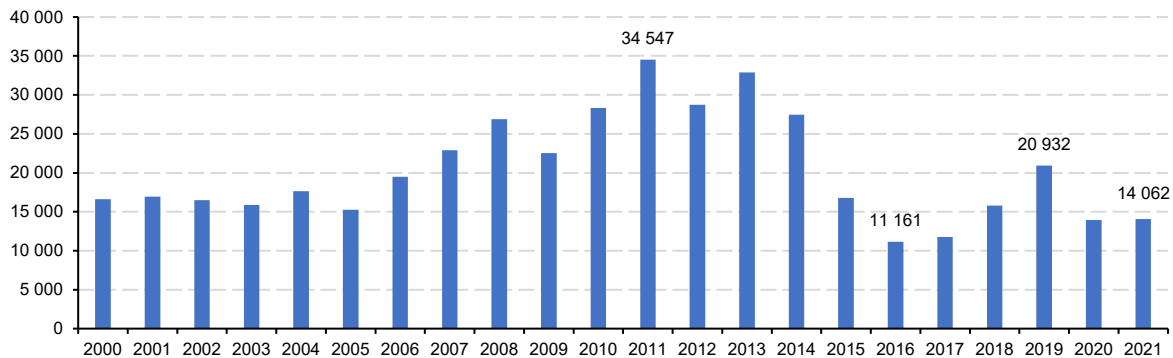


Fonte: Elaboração própria a partir de (ANFAVEA, 2021).

De fato, durante os anos de 2020 e 2021, muitas empresas da cadeia produtiva de ônibus anunciaram a interrupção temporal das atividades produtivas por causa do agravamento da pandemia. O objetivo dos fechamentos temporais era “contribuir com a redução de circulação de pessoas e administrar a dificuldade de abastecimento de peças e componentes na cadeia de suprimentos” (OLHAR DIGITAL, 2021).

Outro ponto que merece destaque é em relação ao licenciamento de novos ônibus no Brasil. Similarmente à produção de ônibus, os dados sobre licenciamento apontam para um crescimento entre os anos 2000 e 2011 e, também, para uma queda gradual a partir do ano de 2012, conforme apresentado no Gráfico 5 a seguir.

Gráfico 5
Licenciamento de novos ônibus a diesel no Brasil (2000-2020)
(Unidades)



Fonte: Elaboração própria a partir de (ANFAVEA, 2021).

O licenciamento de novos ônibus está associado ao comportamento das vendas no mercado interno, principalmente para a manutenção da idade média da frota de ônibus urbanos das grandes cidades. Dessa forma, a partir do ano 2012, observa-se uma queda no licenciamento como consequência da crise econômica que atingiu o país, e que consequentemente reduziu o ritmo de renovação da frota e dificultou o financiamento dos ônibus urbanos.

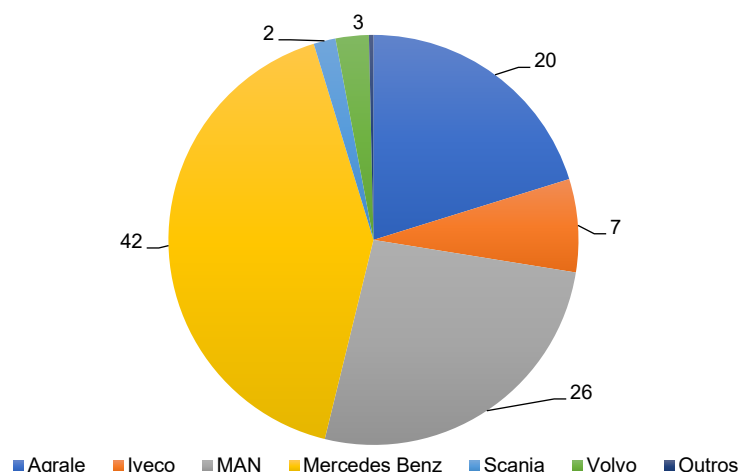
É importante destacar que, em 2019, o número de ônibus licenciados aumentou para 20.940 unidades, sobretudo os ônibus escolares, como resposta ao Programa “Caminho da Escola”, cujo objetivo é renovar, padronizar e ampliar a frota de veículos escolares das redes municipal, do DF e estadual de educação básica pública (FNDE, 2021).

Entretanto, igualmente à produção de ônibus, com a pandemia houve uma queda expressiva no licenciamento de ônibus chegando a aproximadamente 14.000 unidades, em 2020, devido à baixa capitalização do setor de transportes urbanos, metropolitanos e rodoviários (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2021).

Ainda no que diz respeito ao licenciamento de novos ônibus, é interessante apontar que as empresas de chassis mantiveram as suas lideranças ao longo dos anos, embora as suas participações no mercado interno tenham passado por variações.

O gráfico 6 identifica a participação das empresas no licenciamento de novos ônibus para o ano de 2021. Em primeiro lugar aparece a Mercedes Benz (4,2%), seguida de MAN VW (26%), Agrale (20%) – foco no segmento de micro e midibus para operações urbanas, intermunicipais e de fretamento, Volvo (3%) e Scania (2%).

Gráfico 6
Participação no licenciamento de novos ônibus por empresas 2021
(Em porcentagens)



Fonte: Elaboração própria a partir de (ANFAVEA, 2022).

Além das empresas de chassis, as empresas de carrocerias também sofreram com os desdobramentos da pandemia, sobretudo devido ao aumento de 65% no preço do aço e de 40% dos preços do alumínio e das espumas para bancos. Em 2021, as fabricantes produziram apenas 12.361. Isso representa uma queda de 24,2% na produção quando comparada às 16.320 entregas realizadas em 2020 (FABUS, 2021).

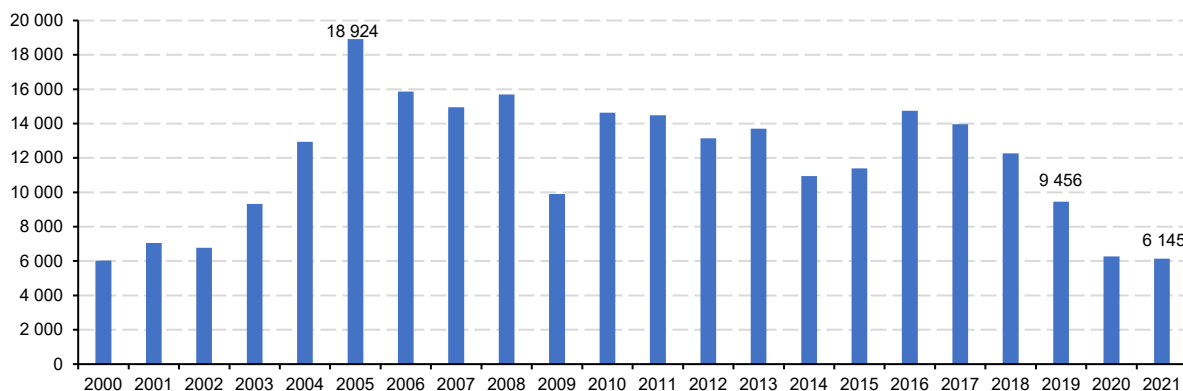
Por último, analisando a participação das empresas na produção de carrocerias para o ano 2021, é possível observar a liderança da empresa Marcopolo com 4.577 unidades, seguida pela Caio Induscar com 2.860 unidades, Mascarello com 1.687 unidades, Comil com 1.155 unidades e, por fim, a Neobus com 806 unidades.

D. Mercado internacional dos ônibus a diesel fabricados no Brasil

Em relação ao comportamento das exportações de ônibus (chassis e carrocerias), o mercado externo sempre tem sido uma prioridade para este setor, principalmente para a região da América Latina.

O gráfico 7 apresenta a dinâmica das exportações das empresas de chassis no período entre 2000 e 2020. Entre 2000 e 2005, as exportações foram crescentes, alcançando as vendas de aproximadamente 19.000 ônibus em 2005, a maior cifra no período analisado. Não obstante, as exportações apresentaram uma queda a partir de 2006, pois o período entre 2006 e 2018 apresenta certa estabilidade no mercado externo com uma média de 13.500 unidades exportadas. Os efeitos da pandemia também são visíveis no comportamento das exportações de ônibus - período que apresentou a maior baixa dos últimos 20 anos.

Gráfico 7
Exportações totais^a de ônibus a diesel (chassis) no Brasil (2000-2021)
(Unidades)

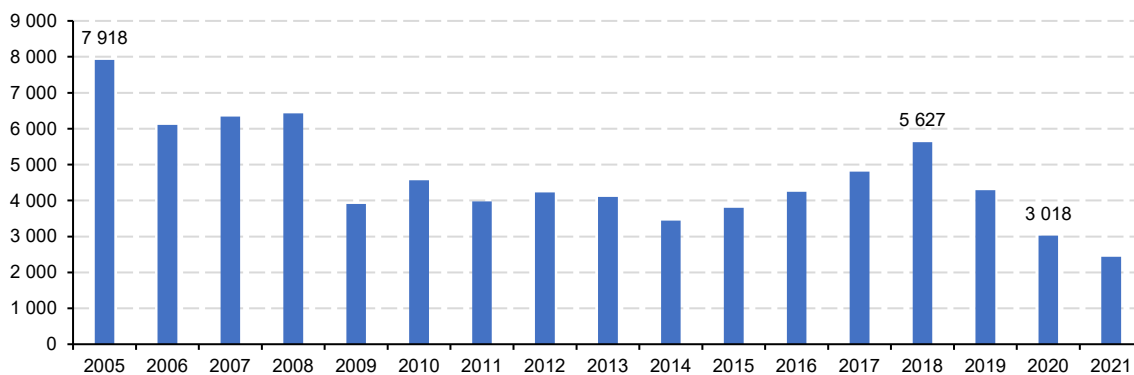


Fonte: Elaboração própria a partir de (ANFAVEA, 2022).

^a Montados e desmontados (CKD).

A mesma tendência pode ser observada no que se refere às exportações de carrocerias. No gráfico 8, que apresenta as exportações de carrocerias de ônibus entre 2005 e 2021, é possível observar uma queda acentuada no período analisado. Os números caíram de 3.918 unidades em 2005 para menos da metade (2.437 unidades) no ano de 2021.

Gráfico 8
Exportações de carrocerias de ônibus a diesel (2005-2021)
(Unidades)



Fonte: Elaboração própria com base em estatísticas da (FABUS, 2021).

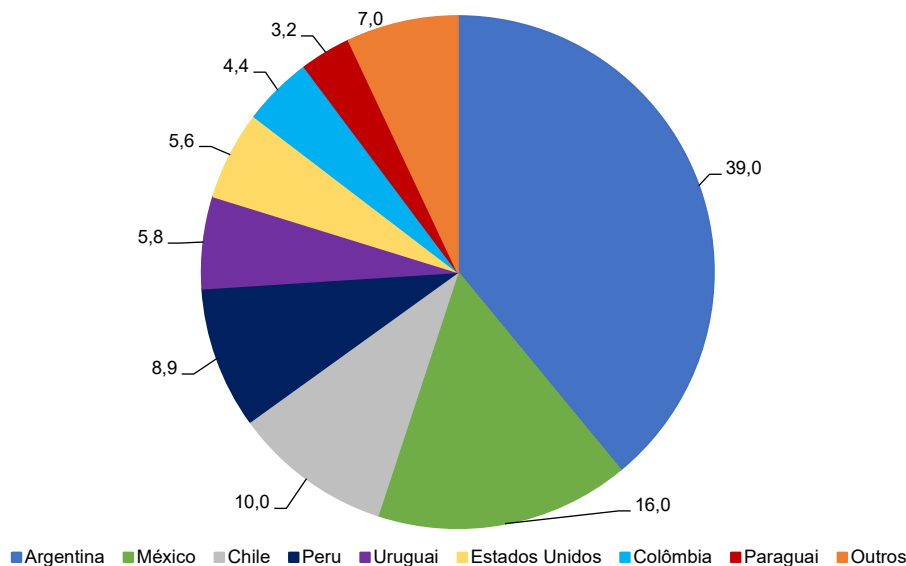
A queda no volume de exportações tanto para chassis como para as carrocerias de ônibus, para além da crise gerada pela pandemia, está associada ao fato de que os produtos brasileiros estão perdendo competitividade no exterior. Isto pode estar relacionado ao que se conhece como “Custo Brasil” que indica uma elevada carga tributária, burocracia, e a uma infraestrutura logística desatualizada e ineficiente. Segundo ANFAVEA (2021), “a pandemia evidenciou a necessidade imediata de mudanças profundas nas estruturas tributárias e administrativas do governo e, também, de reformas pontuais que removam entraves burocráticos, jurídicos e fiscais que pesam sobre os ombros do sistema produtivo”.

Em relação aos principais países de destino das exportações, durante o ano 2020, o valor das exportações deste segmento foi de US\$ 1.131,02 milhões tendo uma participação do 0,5% das exportações do Brasil e ocupando a posição 29 no ranking das exportações totais SISTEMA COMEX STAT (COMEXVIS, 2021).

Ainda segundo os dados do Sistema ComexVis, o principal destino das exportações de veículos pesados, incluindo os ônibus é América do Sul, com um Valor FOB de US\$ 815 milhões no ano 2020. Os países da América do Norte (Estados Unidos e México) ocupam o segundo destino das exportações com um valor de US\$ 239 milhões. Na terceira posição estão os países da África, principalmente África do Sul (US\$ 14,4 milhões). Seguidamente estão os países da América Central com um valor FOB de US\$ 15,4 milhões e Europa com Valor FOB US\$ 13,3 milhões. Com menor participação aparecem os países da Oceania, principalmente Austrália (US\$ 7,96 milhões), Oriente Médio (US\$ 2,84 milhões) e Ásia (US\$ 760 mil).

Quando se analisa a participação das exportações deste segmento por países (Gráfico 9), Argentina é o principal destino com uma participação de 39% (US\$ 439 milhões). Isto se explica pelos benefícios associados aos Acordos de Complementação Econômica (ACE) do Mercosul e à Política Automotiva Comum entre Argentina e o Brasil. A segunda posição é ocupada pelo México com o 16% da participação (US\$ 176 milhões). Chile aparece no terceiro lugar com o 10% da participação das exportações (US\$ 115 milhões). Nas primeiras posições aparecem os demais países da América Latina, os quais tem demandado ônibus urbanos para a operação nos Sistemas BRT (Bus Rapid Transit) das principais cidades da região).

Gráfico 9
Participação das exportações por países de destino (2020)
(Em porcentagens)



Fonte: Elaboração própria a partir das estatísticas do SISTEMA COMEX STAT - COMEXVIS, (2021).

O comércio exterior dos produtos associados à indústria automobilística brasileira é facilitado por um conjunto de acordos internacionais, os quais se resumem na sequência (quadro 3).

Quadro 3
Acordos internacionais vigentes associados à indústria automobilística brasileira

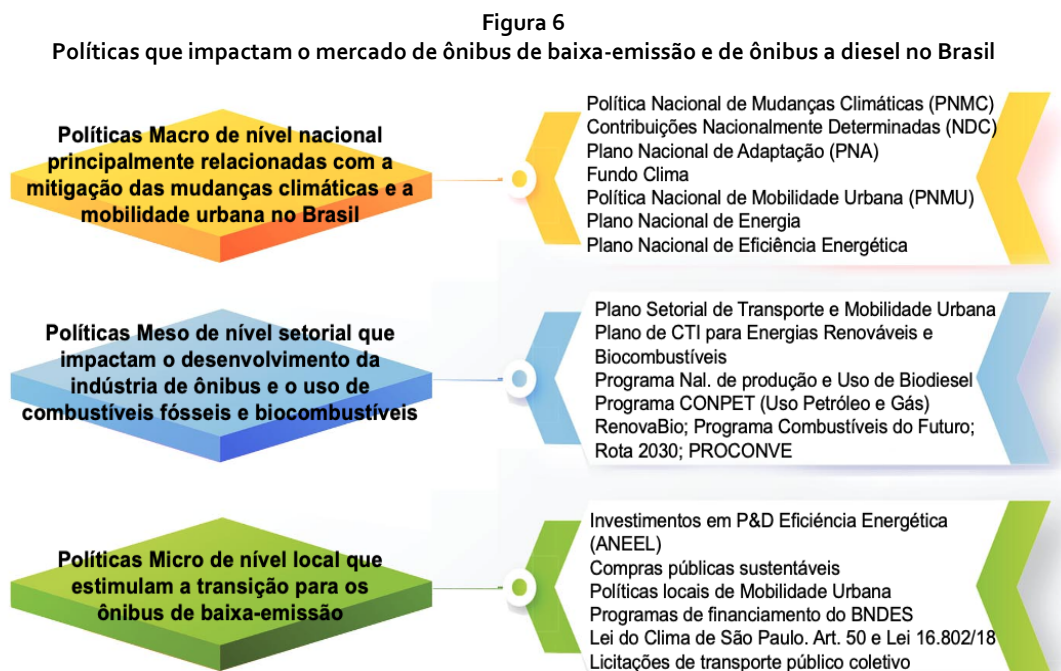
Nome do Acordo	Breve descrição
MERCOSUL- Acordo de Complementação Econômica (ACE) 18 (20/11/91)	O objetivo deste acordo é facilitar a criação das condições necessárias para o estabelecimento do Mercado Comum.
ACE 14. Brasil-Argentina (20/12/90)	Como parte deste ACE foi criado o Acordo sobre a Política Automotiva Comum entre Argentina e Brasil (44 Protocolo Adicional ao ACE 14). O comércio de produtos automotivos (automóveis, ônibus, caminhões, tratores rodoviários, chassis e autopeças) é administrado por um mecanismo denominado “coeficiente de desvio sobre as exportações” ou flex, o qual determina a relação entre as exportações máximas e as importações mínimas permitidas, segundo a margem percentual de flexibilidade acordada para cada ano. Este acordo prevê aumentos graduais nos próximos anos e livre comércio de todos os produtos automotivos a partir de 1º de julho de 2029.
ACE 36. Mercosul-Bolívia (17/12/96)	O objetivo destes dois ACE é estabelecer uma área de livre comércio entre as Partes, além de promover o desenvolvimento, os investimentos recíprocos, a integração física e a cooperação econômica, energética, científica e tecnológica.
ACE 35. Mercosul-Chile (25/06/96)	
ACE 72. Mercosul-Colômbia (21/07/2017)	O acordo estabelece quotas anuais de importação, com margem de preferência de 100%, para veículos de passageiros e veículos de carga com capacidade inferior ou igual a 3,5 toneladas, desde que sejam cumpridos determinados Valores de Conteúdo Regional (VCR). Atualmente, a quota prevista para cada um dos países é de 50.000 unidades (no caso do Brasil, 45.000 unidades com VCR de 50% e 5.000 unidades com VCR de 35%; no caso da Colômbia, 5.000 unidades com VCR de 50% e 45.000 unidades com VCR de 35%). Os demais veículos (ou seja, veículos não abrangidos pelas quotas e veículos que excederem as quotas) contam, em geral, com margem de preferência de 54% na Colômbia e de 55% no Brasil.
ACE 62. Mercosul-Cuba (21/07/2006)	O objetivo é impulsionar o intercâmbio comercial entre as Partes, por meio da redução ou eliminação de tarifas de importação e demais restrições aplicadas à importação dos produtos negociados.
Egito- ALC Mercosul-Egito (02/08/2010)	O ALC MERCOSUL-Egito destina-se à abertura ao mercado bilateral de bens, com abrangência de aproximadamente 9.800 linhas do universo tarifário, que terão suas tarifas desgravadas até 1º de setembro de 2026. O Acordo conta também com cláusula evolutiva sobre a possibilidade de entendimentos, no futuro, para acesso em serviços e investimentos.
ACE 59. Mercosul-CAN Brasil-Ecuador (18/10/2005)	As condições para o comércio de produtos automotivos entre Brasil e Equador estão dispostas tanto nas regras gerais do ACE 59 quanto em instrumentos específicos sobre o tema (Apêndices 2, 3.6 e 4.5 do Anexo II do Acordo e Apêndice 2 do Anexo IV do Acordo). Como regra geral, o Brasil concede ao Equador margens de preferências de 100% para máquinas agrícolas e rodoviárias, de 55% a 100% para autopeças e 55% para demais produtos automotivos; o Equador, por sua vez, concede ao Brasil margens de preferências de 67% a 100% para máquinas agrícolas e rodoviárias, de 20% a 100% para autopeças e de 30% para demais produtos automotivos.
ACE 53, 54 e 55 Mercosul-México (2002)	O Brasil possui três Acordos de Complementação Econômica em vigor com o México (ACEs 53, 54 e 55). O ACE 54 é um Acordo-Quadro que tem como objetivo criar uma área de livre comércio entre os Estados Partes do Mercosul e o México. Enquanto esse objetivo não é atingido, o comércio entre as Partes é regulado por outros acordos atualmente em vigor - no caso do Brasil, pelo ACE 55 (Mercosul-México), que abrange produtos automotivos, e pelo ACE 53 (Brasil-México), que compreende produtos não automotivos.
ACE 74. Brasil-Paraguai Produtos Automotivos (11/02/2020)	Como regra geral do Acordo, o Brasil concede livre comércio imediato para produtos automotivos paraguaios. O Paraguai, por sua vez, concede livre comércio imediato para os produtos automotivos brasileiros taxados anteriormente com tarifas entre 0% e 2%, o que inclui grande parte das autopeças, carroçarias, reboques e semirreboques, máquinas agrícolas e rodoviárias, caminhões e ônibus. Para os demais produtos automotivos brasileiros, o Paraguai aplicará margens de preferência tarifária crescentes, até a liberalização total do setor ao final de 2022. A fim de possibilitar um maior acesso recíproco a determinados produtos, o Acordo prevê quotas com regras de origem reduzidas para autopeças, automóveis e veículos com motorizações alternativas (como híbridos e elétricos).
ACE 58. Mercosul-Peru (30/11/2005)	Ao amparo do ACE 58, atualmente todo o comércio recíproco entre Brasil e Peru já está desgravado (ou seja, livre da cobrança de imposto de importação), exceto por 12 códigos tarifários referentes a açúcar, álcool, pneus e artefatos de matérias têxteis, os quais estão excluídos do programa de liberalização comercial.

Nome do Acordo	Breve descrição
ACE 02. Brasil-Uruguai (20/12/1982)	O Acordo estabelece regime de livre comércio para automóveis e veículos comerciais leves, ônibus, caminhões, tratores rodoviários para semirreboques, máquinas agrícolas e rodoviárias, chassis, carroçarias, reboques, semirreboques e conjuntos e subconjuntos de autopeças que cumpram com Índice de Conteúdo Regional (ICR) mínimo de 55%, no caso do Brasil, e de 50%, no caso do Uruguai, calculados pela fórmula estabelecida no Acordo. As autopeças que não estiverem montadas (ou seja, as peças simples) terão livre comércio se cumprirem as regras de origem do Mercosul. Os produtos automotivos que não alcancem os ICRs exigidos para a condição de livre comércio poderão se beneficiar de quotas com ICR reduzido, no valor de US\$ 650 milhões anuais para produtos uruguaios e de US\$ 350 milhões anuais para produtos brasileiros, desde que cumpram com os Índices de Conteúdo Regional Reduzido em caso de Quotas (ICRQ) e com as demais disposições estabelecidas pelo Acordo.
ACE 69. Brasil-Venezuela (26/12/2012)	O ACE 69 estabelece que, enquanto não for definido um tratamento específico para os produtos do setor automotivo, serão aplicadas as disposições contidas no ACE 59 com os níveis de preferências tarifárias vigentes em 31 de dezembro de 2012. A ampliação de tais margens de preferência ainda depende de negociações entre Brasil e Venezuela acerca das regras de origem atualmente aplicadas.

Fonte: Extraído de (SISTEMAS DE COMÉRCIO EXTERIOR (SISCOMEX, 2021).

E. Arcabouço institucional: políticas que impactam o desenvolvimento do mercado de ônibus de baixa-emissão e de ônibus a diesel no Brasil

Nesta seção se apresenta o mapeamento das políticas e instrumentos que impactam tanto o mercado de ônibus de baixa-emissão como o mercado de ônibus a diesel. Estas políticas foram classificadas em três níveis de análise —macro, meso e micro— e sua caracterização foi inspirada na Perspectiva Multi-Nível (MLP) de Geels (2002) (vide figura 6).



Fonte: Extraído de Barassa *et al.* (2022).

Na parte superior foram identificadas políticas macro de caráter nacional, as quais estão relacionadas com a mitigação às mudanças climáticas, mobilidade urbana e eficiência energética no Brasil.

As políticas meso, do nível setorial, são as políticas, programas e planos que impactam o desenvolvimento da indústria de ônibus (diesel) e o uso de combustíveis fósseis com destaque para os Biocombustíveis.

Finalmente, as políticas micro, do nível local, tem como objetivo estimular a transição para os ônibus de baixa-emissão com foco nas cidades. No quadro 4, na sequência, se descrevem brevemente cada uma destas políticas e seu impacto no mercado de ônibus e nos sistemas de transporte público no Brasil.

Quadro 4
Principais políticas que impactam o mercado de ônibus de baixa-emissão e dos ônibus a diesel no Brasil

Nome da política	Breve descrição
Políticas macro	
Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Lei nº 12.187/2009	A Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC (Lei nº 12.187/2009) reflete, no âmbito nacional, o esforço internacional de criação de instrumentos políticos para mitigar a problemática das mudanças climáticas causadas pelas atividades humanas, em especial a questão da emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE), e promover ações de desenvolvimento sustentável. A PNMC estabeleceu definições, princípios, objetivos, diretrizes, instrumentos, órgãos colegiados para elaboração de normas e estudos, e bases para os planos setoriais de mitigação e adaptação às mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável. Os Planos Setoriais buscam contribuir para o atendimento de objetivos voluntários de redução de emissões antrópicas quantificáveis e verificáveis, considerando as especificidades de cada setor. Em relação ao transporte, a PNMC estabelece como prioridade "a consolidação de uma economia de baixo carbono [...] no transporte público urbano" (BRASIL, 2009).
Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC)	A PNMC estabeleceu as diretrizes da Contribuição Nacionalmente Determinada – NDC, que foi apresentada no âmbito do Acordo de Paris e estabelece para o Brasil metas de redução de emissões de GEE para 2025, em caráter definitivo, e para 2030, em caráter indicativo, além da expectativa de apresentação de novas NDC em períodos quinquenais (BRASIL, 2015).
Plano Nacional de Adaptação (PNA)	O Plano Nacional de Adaptação (PNA) é o principal instrumento de política e gestão e adaptação às mudanças climáticas. O PNA propõe mecanismos institucionais para sua implementação de forma concertada entre os entes federativos, os setores e a sociedade, além de uma agenda de implementação de ações de caráter estruturante para suprir lacunas observadas no contexto nacional com vistas à promoção da adaptação à mudança do clima. O PNA estabelece estratégias setoriais e temáticas onde tem destaque a infraestrutura, a qual aborda os temas de energia, transportes e mobilidade urbana: <ul style="list-style-type: none"> • Setor transportes: avaliar a possibilidade de existência de co-benefícios e sinergias entre mitigação e adaptação relacionadas às diferentes alternativas aplicadas ao setor de transportes. • Setor mobilidade urbana: i) fortalecimento e qualificação da infraestrutura de transporte público coletivo e individual não-motorizado; ii) apoio à inovação em projetos que reduzam as emissões de carbono e aumentem a capacidade adaptativa à mudança do clima. • Setor energia: avaliar os possíveis co-benefícios e sinergias entre mitigação e adaptação relacionadas às diferentes alternativas aplicadas ao setor de energia (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2015).
BNDES-Fundo Clima (Fundo Nacional sobre Mudança do Clima)	O objetivo do Fundo Clima é financiar projetos, estudos e empreendimentos para a redução dos GEE e a adaptação aos efeitos das mudanças climáticas. Os recursos outorgados pelo Fundo Clima são administrados pelo BNDES e pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). O Fundo-Clima outorga recursos para a redução das emissões de GEE nos sistemas de transporte público coletivo e em equipamentos com maior eficiência energética, com destaque para o fomento da capacidade produtiva local e a compra de ônibus elétricos, ônibus híbridos e ônibus movidos a etanol, assim com a infraestrutura de recarga (BNDES, 2021a).
Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) (Lei No. 12.587/2012)	A Política Nacional de Mobilidade Urbana - PNMU foi instituída através da Lei No. 12.587/2012 determina a obrigação de municípios brasileiros com mais de 20 mil habitantes ou pertencentes a regiões metropolitanas a apresentarem e implantarem Planos de Mobilidade Urbana (PlanMobs) que contem com projetos para reduzir o impacto ambiental, social e econômico dos deslocamentos de pessoas e cargas nas grandes cidades. Os PlanMobs devem estar integrados com outras políticas de desenvolvimento urbano no âmbito municipal, como os projetos de habitação e saneamento básico. Dentre as prioridades da Política Nacional de Mobilidade Urbana e que devem estar incluídos nos PlanMobs, destacam-se os seguintes pontos: <ul style="list-style-type: none"> • Prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado. • Integração entre os modos e os serviços de transporte urbano. • Incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes. • Priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado (BRASIL-MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012). • Algumas das estratégias desta Lei são: <ul style="list-style-type: none"> - estabelecimento de padrões de controle de poluentes; - maiores impostos ao uso de transporte individual, por exemplo, pedágios urbanos, definição de BRT, altos custos de estacionamento, entre outros.

Nome da política	Breve descrição
Plano Nacional de Energia (PNE 2030 e PNM 2050)	O Plano Nacional de Energia tem como objetivo o planejamento de longo prazo no setor energético do país, orientando tendências e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas, e são compostos por uma série de estudos e notas técnicas que buscam fornecer insumos para a formulação de políticas energéticas segundo uma perspectiva integrada dos recursos disponíveis. O primeiro Plano Nacional de Energia (PNE 2030) foi elaborado em 2007, sendo o primeiro estudo de planejamento energético integrado de longo prazo realizado pelo governo brasileiro. O PNE 2050 foi aprovado em dezembro de 2020. O documento se coloca como uma atualização do PNE 2030, levando em consideração as mudanças estruturais ocorridas desde 2007 e a recente crise econômica e sanitária decorrente da pandemia de COVID-19, além das mudanças estruturais relevantes para as próximas décadas, incluindo a transição energética. O documento aponta para a necessidade de descarbonização da matriz energética até 2050, a importância da continuidade das políticas de eficiência energética, a inserção do país na economia de baixo carbono, e a vulnerabilidade de sua matriz energética às mudanças climáticas (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2020).
Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf)	O Plano Nacional de Eficiência Energética - PNEf, apresenta ações diversas visando aumentar a conservação de energia nos setores industrial, transportes, edificações, iluminação pública, saneamento, educação, entre outros. Para o setor dos transportes, o PNEf propõe mudanças na matriz brasileira para um modelo em que o modal rodoviário, atualmente predominante, seja complementado pelos modais ferroviário e hidroviário. Além disso, o PNEf discute necessidade de promoção do desenvolvimento tecnológico para melhoria dos motores de veículos, incluindo as opções de motores híbridos e elétricos. Desde sua implementação, o PNEf ainda não se traduziu ainda em novas ações e políticas de eficiência energética que englobem as metas específicas do Plano (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).
Políticas meso	
Plano Setorial de Transporte e Mobilidade Urbana para a Mitigação e Adaptação à Mudança Climática (PSTM)	O PSTM foi regulamentado pelo Decreto No. 7.390/2010. Os principais objetivos são: <ul style="list-style-type: none"> • implementação da infraestrutura para a mobilidade urbana por meio de projetos de transporte público; • implementação de instrumentos de gestão da mobilidade urbana, que estimulem o transporte público e desestimulem o transporte individual motorizado; • substituição das fontes de energia utilizadas no transporte público por ônibus (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013). O PSTM tem um eixo estratégico dedicado à elaboração de estratégia para mudança de matriz energética do transporte público, a qual identifica a necessidade de política pública que promova a adoção de novas fontes de energia de menor intensidade de carbono para o transporte coletivo por ônibus, com destaque para o uso do etanol, GNV, Biodiesel de Cana de Açúcar e Energia Elétrica para ônibus.
Plano de CTI para energias renováveis e biocombustíveis (2018-2022)	O principal objetivo deste Plano é promover o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico em fontes renováveis na geração de energia elétrica, produção e uso de biocombustíveis e no uso eficiente da energia, garantindo a segurança e o abastecimento energético, levando em conta a importância econômica, social e ambiental para o país. A Meta 5 "Contribuir para a agregação de novas tecnologias para a eletromobilidade" estabelece: <ul style="list-style-type: none"> • desenvolver novas concepções de motores incluindo a utilização de imãs permanentes e terras raras; • desenvolver sistemas auxiliares para veículos elétricos, incluindo sistemas de recarga; • incentivar projetos para o desenvolvimento de tecnologias de uso sistêmico de VE como consumidor e gerador de energia; • incentivar projetos de demonstração de uso de energias e combustíveis renováveis para a produção de hidrogênio para uso veicular e para a produção de gás de síntese (MCTIC, 2018).
Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)	O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel - PNPB é um programa interministerial do Governo Federal criado em 2004 com o compromisso de viabilizar a produção e o uso do biodiesel no país, com enfoque na inclusão produtiva e no desenvolvimento rural sustentável, via geração de emprego e renda. As principais diretrizes do programa são: <ul style="list-style-type: none"> • implantar um programa sustentável, promovendo a inclusão produtiva da agricultura familiar; • garantir preços mínimos, qualidade e suprimento; e • produzir o biodiesel a partir de diferentes matérias-primas, fortalecendo as potencialidades regionais. O PNPB determinou o uso obrigatório do biodiesel na mistura com o diesel fóssil. Em 2010 a adição de biodiesel foi de 5% e se alcançou um 12% de adição em março de 2020. (SECRETARIA ESPECIAL DE AGRICULTURA FAMILIAR E DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, 2018).
Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural - CONPET	O Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural - CONPET é um Programa do Governo Federal, vinculado ao Ministério de Minas e Energia - MME, e executado com o apoio técnico e administrativo da Petrobras. Os principais objetivos do Programa são: racionalizar o consumo dos derivados do petróleo e do gás natural; reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera; promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico; e fornecer apoio técnico ou o aumento da eficiência energética no uso final da energia. Seus principais focos de atuação são: Selo Conpet: a partir do programa surgiu o selo Conpet de Eficiência Energética, que destaca os produtos que atingem os graus máximos de eficiência energética no Programa Brasileiro de Etiquetagem. O Conpet é o equivalente ao selo Procel, mas com foco nos produtos que usam energia de derivados do petróleo e gás natural.

Nome da política	Breve descrição
Política Nacional de Biocombustíveis RenovaBio	<p>A Política Nacional de Biocombustíveis - RenovaBio, instituída pela Lei No. 13.576/2017, tem como objetivo estabelecer metas anuais de descarbonização para o setor de combustíveis e expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, visando contribuir com os compromissos assumidos no Acordo de Paris.</p> <p>É composta por uma série de ações, atividades, projetos e programas visando valorizar os biocombustíveis nacionais, prover segurança energética, garantir previsibilidade de investimentos, incentivar a inovação tecnológica e contribuir para a melhoria financeira do segmento. Os principais instrumentos implementados pela política são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • O estabelecimento de metas nacionais de redução de emissões para a matriz de combustíveis, desdobradas em metas individuais e compulsórias para todos os distribuidores de combustíveis; • A criação de um sistema de certificação da produção de biocombustíveis por firmas inspetoras privadas, atribuindo-se uma a Nota de Eficiência Energético-Ambiental que será maior para os produtores mais eficientes (ex. que produzirem maior quantidade de energia com menor emissão de GEE); <p>A partir desses dois instrumentos, se dará a criação do Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis CBIO, um ativo financeiro negociado em bolsa, emitido pelo produtor de biocombustível a partir da comercialização de sua produção, considerando o volume de biocombustível produzido, importado e comercializado e a Nota de Eficiência Energético-Ambiental do emissor.</p> <p>Os distribuidores de combustíveis, por sua vez, e os distribuidores, por sua vez, são obrigados a adquirir uma quantia mínima de CBIO, para fins de cumprimento das metas individuais estabelecidas pelo programa (MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).</p>
Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores PROCONVE	<p>O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE foi instituído pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA através da Resolução CONAMA No. 18/1986, visando reduzir a emissão de poluentes atmosféricos e de ruído de todos os modelos de veículos automotores vendidos no território nacional, bem como promover o desenvolvimento tecnológico nacional no setor, através do estabelecimento de um grupo de fases de atuação, cada uma contendo prazos, limites máximos de emissão de poluentes e ruído, além de outras exigências tecnológicas para veículos automotores novos, nacionais e importados, comercializados no país. O Programa é uma adaptação das metodologias internacionais (principalmente as normas europeias) às necessidades brasileiras. A Lei No. 8.723/1993 e a Lei nº 10.203/2001 são os instrumentos legais que estabelecem as Resoluções do CONAMA como o instrumento de regulação das emissões em veículos automotores (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 1986). Dentre os objetivos do programa, destacam-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover o desenvolvimento tecnológico nacional tanto na engenharia automobilística como em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes; • Criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso; • Reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores para atender os Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos. <p>O Programa funciona por meio de metas de emissão e ruído, que se tornam mais rigorosas e exigem maior adaptação dos fabricantes ao longo do tempo. Para automóveis pesados, foram definidas as fases P. A fase PROCONVE P-8 (que corresponde ao Euro VI), foi regulamentada pela Resolução No. 490/2018 e deve ser implementada a partir do 1 de janeiro de 2023 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2018).</p>
Rota 2030 (Lei No. 13.755/2018; Decreto nº 9.557/2018)	<p>O Rota 2030 é um programa do governo federal que define regras para a fabricação de automóveis produzidos e comercializados no Brasil até 2030. O programa foi criado através da Lei No. 13.755/2018 e regulamentado através do Decreto No. 9.557/2018, e é composto por um conjunto de incentivos e contrapartidas para a comercialização e produção de veículos, produção de autopeças e sistemas produtivos no país, incluindo normas e diretrizes que os fabricantes instalados no país precisam obedecer, além de uma série de benefícios fiscais para as empresas que investirem em P&D com foco no aumento da eficiência energética dos veículos e no uso de biocombustíveis e de formas alternativas de propulsão, entre outros objetivos definidos no programa.</p> <p>As diretrizes do Programa Rota 2030 são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • incremento da eficiência energética, do desempenho estrutural e da disponibilidade de tecnologias assistidas à direção dos veículos comercializados no país; • aumento dos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação no país; • estímulo à produção de novas tecnologias e inovações, de acordo com as tendências tecnológicas globais; • promoção do uso de biocombustíveis e de formas alternativas de propulsão e valorização da matriz energética brasileira. <p>Os principais benefícios fiscais do Rota 2030 são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • a redução do IPI em até 2% para veículos que atendam os requisitos do programa, a partir de 2022; • isenção do imposto de importação para peças que não são produzidas nacionalmente; e redução de até 15,3% do valor gasto em pesquisa e desenvolvimento no Imposto de Renda Pessoa Jurídica e Contribuição Social sobre o Lucro Líquido. Para veículos elétricos, o programa estabelece a redução do Imposto sobre Produtos Industrializados de 25% para uma faixa entre 7% e 20%, segundo critérios de peso e eficiência energética (BRASIL, 2018).

Nome da política	Breve descrição
Programa Combustível do Futuro Resolução No.7/2021	<p>O objetivo do Programa Combustíveis do Futuro é propor medidas para incrementar a utilização de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono, bem como da tecnologia veicular nacional com vistas à descarbonização da matriz energética de transporte nacional.</p> <p>As diretrizes são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • coordenação interinstitucional e a integração de políticas públicas relacionadas ao setor automotivo e de combustíveis, como o RenovaBio, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o PROCONVE, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular, o Programa Rota 2030 e o CONPET; • Avaliação da eficiência energético-ambiental por meio da análise do ciclo de vida completo do combustível, nos diversos modos de transporte; • estímulo ao desenvolvimento tecnológico e à inovação (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).
Políticas micro	
Programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor de energia elétrica (P&D ANEEL) Lei No. 9.991/2000	<p>Conforme determina a Lei No. 9.991/2000, as empresas distribuidoras de energia elétrica devem aplicar um percentual mínimo da receita operacional líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética (PEE), segundo regulamentos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. O objetivo do PEE é promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada, promovendo a transformação do mercado de eficiência energética, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica. A elaboração e a execução dos PEEs são realizadas pelas empresas distribuidoras de energia elétrica em instalações de seus consumidores (BRASIL, 2000). A Chamada de Projeto de P&D Estratégico No. 022/2018: "Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente" tem como objetivo a constituição de modelos de negócio que contribuam, de maneira significativa, para a criação de massa crítica e base tecnológica para o desenvolvimento de produtos e serviços nacionais na área de Mobilidade Elétrica Eficiente, e que demonstrem sua viabilidade técnico-econômica em território nacional (ANEEL, 2019).</p>
Compras públicas sustentáveis na Administração Pública Federal (Lei No. 12.349/2010, Decreto No. 7.746/2012)	<p>De maneira geral, as compras públicas sustentáveis podem ser definidas como a utilização do poder de compra do setor público para gerar benefícios econômicos e socioambientais através de licitações – procedimentos administrativos formais em que a Administração Pública convoca, mediante condições estabelecidas em ato próprio (edital ou convite), empresas interessadas na apresentação de propostas para o oferecimento de bens e serviços. Os principais instrumentos de compras públicas sustentáveis na esfera da Administração Pública Federal são:</p> <p>A Lei No. 12.349/2010, alterando a Lei No. 8.666/1993, introduziu o conceito de compras públicas sustentáveis na legislação brasileira, ao decretar que "as contratações públicas devem promover o desenvolvimento nacional sustentável" (BRASIL, 2010).</p> <p>O Decreto No. 7.746/2012 (com alterações posteriores no Decreto nº 9.178/2017) regulamenta o artigo 3 da Lei No. 8.666/1993, para estabelecer critérios e práticas para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal direta, autárquica e fundacional e pelas empresas estatais dependentes, e institui a Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública – CISAP. A CISAP buscava integrar todas as discussões relativas à sustentabilidade no Governo, para a implementação de estratégias que assegurem o crescimento sólido e contínuo desse tema, bem como a implementação de critérios e diretrizes para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável (BRASIL, 2012).</p>
Planos Locais de Mobilidade Urbana	<p>A Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) estabeleceu que os municípios com uma população maior a 20.000 habitantes, devem elaborar e apresentar um Plano Local de Mobilidade Urbana, que deve estar integrado ao Plano Diretor Estratégico da cidade. Contudo, até junho de 2020, dos 3.476 municípios que estão obrigados a elaborar o Plano de Mobilidade Urbana, apenas 324 municípios declararam possuir um plano, que corresponde ao 37% da população brasileira (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2020).</p>
Programas de Financiamento do BNDES	<p>Os principais programas de financiamento do BNDES relacionados com os ônibus de baixa-emissão são:</p> <p>BNDES Finem Meio Ambiente: Estabelece benefícios de financiamento para a aquisição e produção de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ônibus e caminhões elétricos, híbridos ou outros modelos com tração elétrica; • ônibus e caminhões movidos exclusivamente a biocombustível; • ônibus e caminhões a gás natural ou biometano; • demais máquinas e equipamentos, com maiores índices de eficiência energética ou que contribuam para redução da emissão de gases de efeito estufa. Para serem financiados, os itens devem ser credenciados no BNDES (BNDES, 2021b). <p>BNDES Finame Mobilidade de Baixo-Carbono: Financiamento para aquisição e comercialização de ônibus e caminhões elétricos, híbridos e movidos exclusivamente a biocombustível e demais máquinas e equipamentos com maiores índices de eficiência energética ou que contribuam para redução da emissão de GEE. Todos os produtos devem ser novos, de fabricação nacional e credenciados no Credenciamento Finame (CFI) do Sistema BNDES. o financiamento de veículos comerciais leves elétricos ou híbridos, de carros de passeio elétricos ou híbridos, de motocicletas elétricas e de bicicletas, triciclos e patinetes elétricos é restrito ao apoio das atividades econômicas de aluguel (diária e compartilhamento) e de frotas (logística e serviços) (BNDES, 2021c).</p>

Fonte: Adaptado de Barassa et al. (2022).

A partir do mapeamento realizado das políticas públicas que impactam o mercado de ônibus no Brasil, se evidencia a ausência de uma política nacional de estímulo à mobilidade de baixo-carbono que priorize a implementação de veículos de zero e baixas-emissões, nos diferentes segmentos de transporte. Também há ausência de metas e estratégias de curto, médio e longo prazo para promover a transição para a mobilidade elétrica com foco no transporte público de baixa-emissão.

No que tange às políticas macro, estas abordam de maneira indireta a implementação de projetos e tecnologias que contribuam com a descarbonização dos sistemas de transporte para o cumprimento dos compromissos internacionais de redução de emissões de GEE e mitigação das mudanças climáticas.

No caso específico das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), estas foram atualizadas no ano 2020 e reafirmam o compromisso da redução de GEE em 37% em 2025 e 43% até 2030. Na nova NDC se salienta o crescimento da produção de biocombustíveis com o apoio do RenovaBio que utiliza mecanismos de mercado de descarbonização para fomentar a produção e o consumo dos biocombustíveis. Contudo, a nova NDC não apresenta ações estratégicas e/ou setoriais para alcançar a metas propostas para a descarbonização dos sistemas de transporte (WRI BRASIL, 2021).

Em relação às Políticas de Eficiência Energética, o PNE 2050 destaca a necessidade da descarbonização da matriz energética e o Plano Nacional de Eficiência Energética discute a necessidade de promoção do desenvolvimento tecnológico para melhoria dos motores de veículos, incluindo as opções de motores híbridos e elétricos. Porém estes planos não estabelecem ações estratégicas nem metas para o cumprimento destes objetivos.

No nível macro, também tem destaque a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) que salienta a priorização dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado e o incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes. Contudo, não definem instrumentos específicos para a implementação de sistemas de transporte público de baixa-emissão nas cidades que são obrigadas a elaborar um Plano de Mobilidade Urbana.

No nível meso, se salientam as políticas de estímulo aos biocombustíveis como uma alternativa para a redução das emissões de GEE e para a descarbonização dos sistemas de transporte. Especificamente, o Plano de CTI para energias renováveis e biocombustíveis, no componente de energias renováveis plantea na Meta 5. Contribuir para a agregação de novas tecnologias para a eletromobilidade a partir do desenvolvimento de novas concepções de motores, incluindo a utilização de imas permanentes e terras raras e sistemas auxiliares para veículos elétricos e sistemas de recarga.

Além disso, tem destaque o Programa Combustível do Futuro, criado em 2021, o qual tem como objetivo criar medidas para incrementar a utilização de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono, bem como da tecnologia veicular nacional com vistas à descarbonização da matriz energética de transporte nacional. As ações estratégicas e projetos específicos deste Programa ainda não foram definidos, mas poderia aproveitar-se para propor mecanismos de estímulo à redução das emissões nos diferentes segmentos do transporte e o incremento da eficiência energética, por exemplo, através do estímulo a tecnologias de mobilidade elétrica e de baixa-emissão.

Especificamente para o caso das políticas de estímulo à indústria automobilística nacional, o Programa Rota 2030 é considerado o sucessor do extinto programa de incentivo Inovar Auto, ampliando a atuação para toda a cadeia do setor, incluindo fabricantes de autopeças e dos sistemas estratégicos para a produção dos veículos. O Programa Rota 2030 visa fomentar investimentos em P&D e o ritmo de inovações, a eficiência energética, a automatização do processo de manufatura, e a qualidade dos veículos e das autopeças.

O Programa Rota 2030, também contempla estímulos para a produção de novas tecnologias e inovações, de acordo com as tendências tecnológicas globais e a promoção do uso de biocombustíveis e formas alternativas de propulsão e valorização da matriz energética brasileira. Além disso, podem habilitar-se no Programa empresas que tenham projetos de investimento relativo à instalação, no país, de linha de produção de veículos com tecnologias de propulsão alternativas à combustão (BRASIL, 2018). Este tipo de estímulo poderia ser utilizado pelas empresas de ônibus a diesel instaladas no Brasil para desenvolver projetos de P&D e capacidades produtivas na fabricação de ônibus de baixa-emissão.

Com respeito às normas de Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, esta política define os limites máximos de emissões para veículos automotores (leves e pesados), estabelecendo prazos e exigências tecnológicas para os veículos nacionais e importados e melhoras na qualidade dos combustíveis. A definição dos limites de emissão está baseada nas Normas Euro.

Para o caso dos veículos pesados, a partir de 1 de janeiro de 2023 entrará em vigência a Fase P-8 que corresponde à normatividade internacional Euro VI. Segundo nossos entrevistados das empresas de chassis e carrocerias, todas estão fazendo as adequações nas linhas de produção para cumprir com esta normatividade com o prazo estabelecido.

Finalmente, as políticas micro identificadas têm como objetivo estimular ao nível local a transição para tecnologias de baixa-emissão. Destaca-se a Lei No. 9.991/2000 da ANEEL que determina que as empresas distribuidoras de energia elétrica devem aplicar um percentual mínimo da receita operacional líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética (PEE).

No marco desta política, a Chamada de Projeto de P&D Estratégico No. 022/2018: “Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente” teve como objetivo a constituição de modelos de negócio que contribuam, de maneira significativa, para a criação de massa crítica e base tecnológica para o desenvolvimento de produtos e serviços nacionais na área de Mobilidade Elétrica Eficiente, e que demonstrem sua viabilidade técnico-econômica em território nacional (ANEEL, 2019). Estes incentivos têm sido importantes para a criação de projetos piloto e de demonstração em mobilidade elétrica, que podem ser o primeiro passo para a implementação de projetos a grande escala no nível das cidades.

No nível micro também tem destaque as políticas de compras sustentáveis que podem ser definidas como a utilização do poder de compra do setor público para gerar benefícios econômicos e socioambientais através de licitações. Estes mecanismos podem ser utilizados para incorporar ônibus de baixa-emissão nos processos de licitação dos sistemas de transporte público nas cidades.

Em relação aos programas de financiamento, o BNDES tem diferentes linhas com destaque para o BNDES Finem Meio Ambiente e Finame Mobilidade de Baixo-Carbono, os quais estabelecem benefícios de financiamento para a aquisição e produção de ônibus e caminhões de baixa-emissão.

II. Cadeia produtiva de ônibus a diesel no Brasil: configuração, atores, redes e competências existentes

A cadeia produtiva é um instrumento de visão sistêmica que permite identificar as diferentes etapas da produção de bens e serviços associados até chegar ao consumidor final. Assim, o conceito de cadeia produtiva estabelece a interconexão entre os diferentes atores e players ligados a uma atividade e a sinergia entre eles (Federação das Indústrias do Estado do Paraná - FIEP, 2010).

O objetivo deste capítulo é construir uma visão sistêmica e holística da cadeia produtiva estabelecida para os ônibus urbanos a diesel, a fim de identificar as etapas produtivas, os recursos físicos e competências envolvidos.

As tecnologias existentes para atender às demandas legais referentes as emissões de gases de escape direcionaram os esforços em investimentos de recursos físicos, humanos e de conhecimento na cadeia produtiva.

Deste modo este capítulo aborda 4 temas interconexos que são utilizados como pilares para a análise da formação estrutural da cadeia produtiva, a saber:

- Estruturação de sistemas e subsistemas relacionados ao parque industrial para os sistemas de propulsão dos ônibus movidos a diesel;
- Lógica da estruturação, não exaustiva, de componentes e principais processos industriais relacionados aos sistemas e subsistemas;
- Lógica da estruturação por competências e conhecimentos necessários na cadeia produtiva para atender as demandas técnicas;
- Lógica de estruturação dos fornecedores por estrutura de recursos industriais e de competências técnicas para a produção dos ônibus urbanos movidos a diesel.

A. Caracterização dos veículos e suas arquiteturas

Segundo Barassa *et al.* (2022) o segmento de ônibus urbanos possui tipologias com diferentes tamanhos e capacidade de passageiros transportados. Cada tipo de ônibus deve cumprir com um conjunto de padrões técnicos e características básicas para operar nas cidades, de forma a garantir condições de segurança, conforto e mobilidade no serviço de transporte público, o qual tem caráter de essencialidade, continuidade e universalidade (ANTP, 2019).

A arquitetura dos ônibus urbanos compreende uma série de componentes e sistemas desenvolvidos para entregar as características técnicas e de segurança desejada pelos clientes/passageiros.

Segundo a ANTP (2019), apesar de muitas cidades determinarem o uso do motor na parte traseira do veículo, a realidade é que a grande maioria da frota brasileira é composta por ônibus urbanos com motores localizados na parte dianteira.

E pode-se citar que, de forma geral, o processo decisório da escolha da arquitetura do ônibus urbano (se motor localizado na parte dianteira ou traseira) começa com a qualidade e a geometria da via onde ele será aplicado. Neste contexto, o guia básico de gestão operacional para a melhoria da qualidade do serviço de ônibus (ANTP, 2019) recomenda a arquitetura de ônibus urbanos com motores dianteiros para a circulação em vias de baixa qualidade, em que há a presença de valetas, obstáculos, podendo estar sujeitas a presença de lama e da ocorrência de enchentes.

Logo, os ônibus urbanos com motor dianteiro, por serem expostos às intempéries de sua aplicação (vias de baixa qualidade) nos grandes centros, são associados a uma arquitetura que possui menor sofisticação de engenharia (suspensão metálica e manual) (ANTP, 2019).

Por outro lado, os ônibus urbanos com motores traseiros são utilizados em vias de maior qualidade, tendo geralmente maior capacidade de transporte de passageiros, o que reflete diretamente no comprimento total do veículo. Cita-se, por exemplo, os ônibus urbanos de piso parcialmente baixo com 15 metros de comprimento, os articulados e os biarticulados (BARASSA *et al.*, 2022).

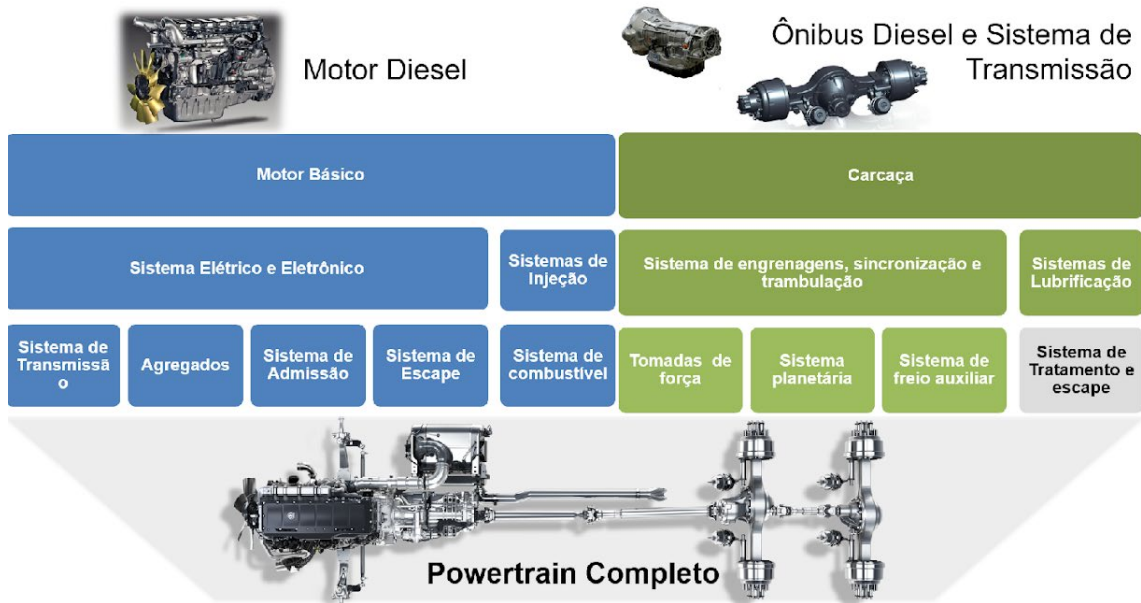
Segundo a ANTP (2019), quando da seleção da arquitetura de ônibus urbanos com motores traseiros, deve-se avaliar fatores como: larguras das vias e raios de curvatura nos casos de curvas e conversões, altura das sarjetas (que podem colidir com o piso baixo dos ônibus), etc.

O chassi com o motor montado na região frontal do veículo é uma configuração típica em linhas que conectam os bairros com os terminais metropolitanos. Também, este tipo de chassi é utilizado no transporte escolar devido a sua adequada resposta funcional em vias com pavimentações precárias, ou até mesmo não pavimentadas.

Ao chassi com o motor montado na região traseira do veículo é possível que o veículo tenha o seu piso parcialmente plano, facilitando a acessibilidade para passageiros com mobilidade reduzida. Esta configuração normalmente é utilizada em linhas que conectam os terminais metropolitanos e a região central das cidades, podendo apresentar variações em seu comprimento através da adição de uma ou mais rótulas, permitindo assim, o aumento do comprimento e conseqüentemente o aumento de capacidade de transporte de passageiros.

A figura 7 apresenta, de forma não exaustiva, os sistemas e componentes que integram o Powertrain dos ônibus movidos à diesel e suas inter-relações. Define-se Powertrain (ou trem de força) como a integração entre o motor, caixa de câmbio e eixo de transmissão.

Figura 7
Sistemas e subsistemas - Powertrain e chassi de ônibus diesel



Fonte: Elaboração própria.

Quanto à arquitetura física de um motor de combustão interna a diesel, tem-se os principais sistemas:

- Motor básico;
- Agregados;
- Sistema de injeção;
- Sistema de combustível;
- Sistema de admissão;
- Sistema de escape;
- Sistema de transmissão;
- Sistema elétrico e eletrônico.

Adicionalmente, complementando o Powertrain, tem-se a caixa de câmbio e o eixo de transmissão (sistema de transmissão), sendo que ambos os conjuntos apresentam quatro macro sistemas em comum e dois sistemas exclusivos para caixas de câmbio, a saber:

- Carcaça (comum);
- Sistema de engrenagens, sincronização e trambulação (comum);
- Sistema de lubrificação (comum);
- Sistema planetária – engrenagens (comum);
- Sistema de freio auxiliar (exclusivo para caixa de câmbio);
- Tomadas de força (exclusivo para caixa de câmbio);
- Sistema de tratamento de gases de escape - chassi.

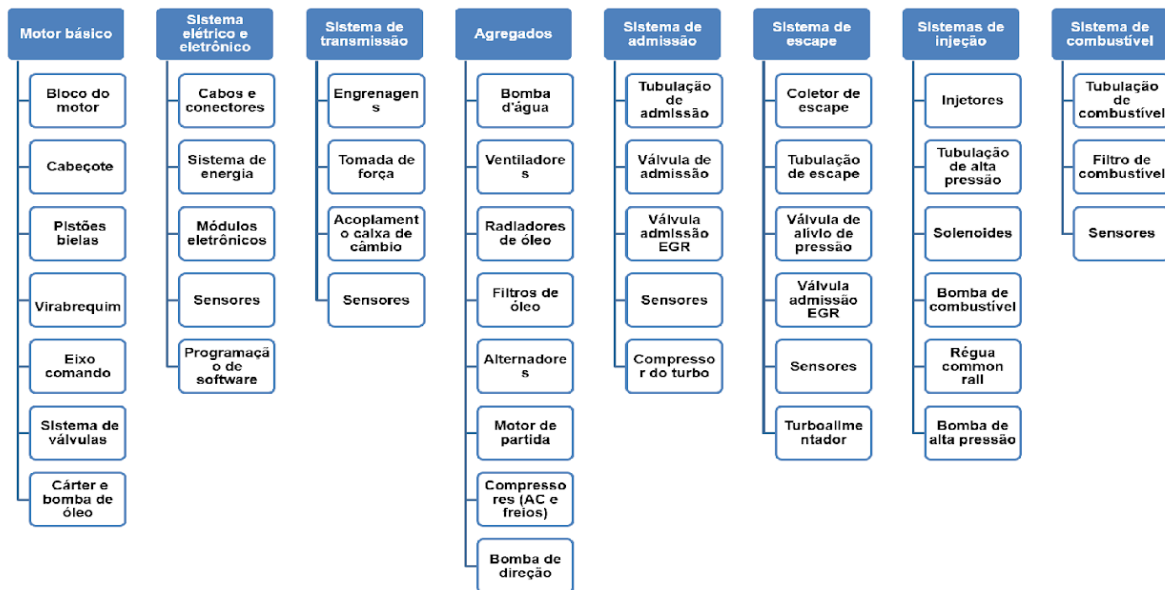
Esses sistemas são divididos em vários subsistemas e componentes que demandam diversos níveis de integração na arquitetura através de softwares e sistemas de gerenciamento dedicados para o adequado funcionamento do veículo.

A figura 8 apresenta os principais sistemas e subsistemas embarcados nos motores diesel, bem como os principais componentes integrados na arquitetura dos ônibus urbanos.

Pode-se classificar os sistemas do motor, de forma não exaustiva, conforme segue:

- Motor básico: compreende os principais componentes mecânicos e estruturais, tais como: bloco do motor, virabrequim, bielas, pistões, cabeçote, eixo de comando de válvulas, válvulas de admissão e escape, sistema de lubrificação (cárter e bomba de óleo), etc.;
- Agregados: composto por itens periféricos montados de forma agregada ao motor básico, tendo como principais componentes: bomba d'água, ventiladores, filtro e radiador de óleo, alternadores, motor de partida, compressor de ar-condicionado, compressor de ar para o sistema de freios, bomba da direção hidráulica etc.;
- Sistema de injeção de combustível: é compreendido por componentes que fazem parte do sistema de alta pressão, como: injetores de combustível, tubulação de alta pressão, bomba de combustível, régua de distribuição de combustível (Common Rail), válvulas solenoides etc.;
- Sistema de combustível: formado pelas tubulações de baixa pressão, filtros de combustível, sensores etc.;
- Sistema de admissão de ar: composto pela tubulação de admissão, trocador de calor do ar de admissão (ex.: intercooler), válvula de admissão de ar, válvula EGR (Exhaust Gas Recirculation), compressor de ar do turbo alimentador, sensores etc.
- Sistema de escape de gases – que contém o coletor de escape, válvulas de alívio de pressão de escape, carcaça do rotor do turbo alimentador, turbo alimentador, tubulação de escape etc.

Figura 8
Sistemas e componentes – motor de ônibus diesel



Fonte: Elaboração própria.

Como citado, o sistema de transmissão do Powertrain é compreendido por dois componentes principais: a caixa de câmbio e o eixo de transmissão. Estes componentes são formados por sistemas e subsistemas que contam com uma série de componentes que utilizam tecnologias industriais e produtivas que possuem semelhanças.

A caixa de câmbio, vide Figura 9, tem os seus principais sistemas classificados conforme abaixo:

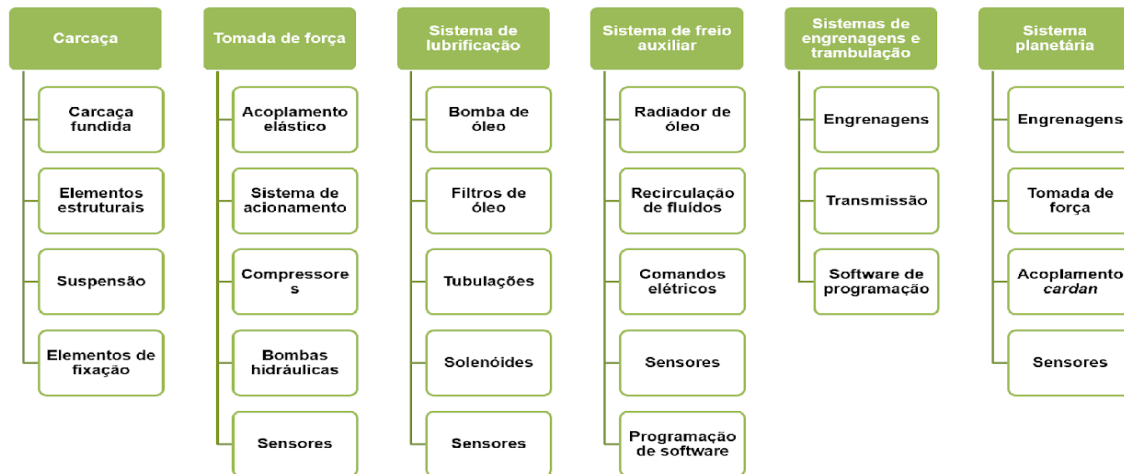
- Carcaça (obtida pelo processo de fundição, em ferro fundido e, em alguns casos, em alumínio): tem a função de prover a estrutura interna e externa, prover fixação de componentes (internos e externos), bem como a integração física entre os diferentes sistemas embarcados na caixa de câmbio;
- Sistema de lubrificação: atua de forma a garantir a perfeita lubrificação e arrefecimento através do filme de óleo depositado sobre as superfícies deslizantes da caixa de câmbio, bem como as arvores primárias e secundárias;
- Sistema de engrenagens, sincronização e trambulação: permitem a transmissão do movimento rotativo, a sincronização das marchas e o engate preciso das diferentes relações de transmissão através do trambulador;
- Tomada de força: tem a função de prover fixação e transmissão de rotação para componentes externos, que por sua vez podem acionar sistemas embarcados no veículo (ex.: bombas de óleo hidráulico, betoneiras, implementos para manutenção de vias elétricas aéreas etc.);
- Sistema de freio auxiliar: tem a função de atuar como sistema complementar ao sistema de freio de serviço do veículo (montado nas rodas). Este sistema pode atuar na geração de “torques resistentes e contrários a rotação do motor” através de sistemas hidráulicos.

O eixo de transmissão, também apresentado na figura a seguir, tem os seus principais sistemas classificados conforme abaixo:

- Carcaça (que pode ser fundida em ferro fundido ou ainda, estampada em aço): tem a função de prover a estrutura interna e externa, prover fixação de componentes (internos e externos), a integração física entre os diferentes sistemas embarcados e integração com a estrutura do chassi do veículo através de sistemas de suspensão a ar ou a molas helicoidais;
- Sistema de lubrificação: atua a fim de garantir a perfeita lubrificação e arrefecimento através do filme de óleo depositado sobre as superfícies deslizantes (dentes das engrenagens do sistema de planetárias, por exemplo);
- Sistema de engrenagem planetárias: conjunto de engrenagens que têm a função de multiplicação do torque de saída para as rodas.

Ressalta-se que a figura 9, além de apresentar os principais sistemas e subsistemas embarcados nos sistemas de transmissão (caixa de câmbio e eixo de transmissão) dos ônibus urbanos a diesel, aponta os principais componentes integrados nesta arquitetura e as interfaces dos sistemas eletrônicos que fazem o controle das funções listadas.

Figura 9
Sistemas e componentes – sistema de transmissão



Fonte: Elaboração própria.

Desta feita, as figuras 7, 8 e 9 trazem em perspectiva a integração e interação de diversos sistemas, subsistemas e componentes dos ônibus urbanos a diesel, de forma a assegurar a qualidade do produto, o atendimento dos requisitos legais estabelecidos pelos órgãos competentes e o conforto do cliente.

Quanto aos requisitos, considerando aqueles voltados às emissões veiculares via legislação de emissões para veículos de transporte urbano (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016), tem-se um conjunto de soluções técnicas adicionais que se aplicam aos veículos com vistas a atender os limites e restrições estabelecidos. Os fabricantes de veículos comerciais a diesel localizados no Brasil implementaram, na arquitetura dos ônibus urbanos, diferentes tecnologias para a redução das emissões gasosas.

Dentre elas, pode-se citar primeiramente a que foi mais amplamente difundida no país, que é a tecnologia SCR (Selective Catalyst Reduction). O sistema é composto de:

- Tanque para o Agente Redutor Líquido Automotivo (ARLA₃₂): solução de água deionizada com 32,5% em massa de ureia (ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011);
- Bomba de transferência: que desempenha a função de bombeamento do ARLA₃₂ para o dosador;
- Dosador: promove a dosagem do ARLA₃₂ de acordo com os parâmetros de funcionamento do motor, que estão pré-programados em um módulo eletrônico, também chamado de central eletrônica ou simplesmente ECU (Electronic Control Unit);
- Injetor de ARLA₃₂: localizado entre o motor e o catalizador, o injetor tem a função de promover a pulverização do ARLA₃₂ no fluxo dos gases de escape;
- Selective Catalyst Reduction: SCR (Catalisador de Redução Catalítica Seletiva) – montado no sistema de escape e controlado pelo módulo eletrônico do motor através de sensores, tem a função de promover a reação de redução química entre o ARLA₃₂ e os Óxidos de Nitrogênio (NO_x) gerando água (H₂O) e Nitrogênio (N₂) como resultado desta reação química.

A segunda tecnologia empregada no Brasil para a redução das emissões de gases dos ônibus urbanos é denominada pela sigla em inglês EGR —Exhaust Gas Recirculation— ou por tradução livre “Sistema de Recirculação de Gases de Escape” (VENTURA, 2009).

Através desta tecnologia, uma pequena porcentagem do gás de escapamento é recirculada/reinserida no coletor de admissão de ar do motor, promovendo uma mistura dos gases de escapamento (gases queimados) com o ar admitido (fresco) proveniente da atmosfera.

A integração dos sistemas de redução de emissões gasosas na arquitetura do *Powertrain* impôs esforços de desenvolvimento adicionais aos fabricantes de ônibus urbanos, pois as novas funcionalidades e requisitos não eram preconizados nas arquiteturas veiculares pré-existentes.

Ainda, o circuito de refrigeração do sistema EGR é derivado do sistema principal de arrefecimento do motor. Este sistema é conectado ao sistema de escapamento e é capaz de reduzir a temperatura dos gases de aproximadamente 700 °C para 140°C, a fim de permitir a injeção destes gases no coletor de admissão mais resfriados e assim garantir adequada eficiência volumétrica.

A injeção dos gases de escape na câmara de combustão promoverá uma redução de temperatura do processo de combustão, que habilita a redução dos óxidos de nitrogênio (NOx) gerados durante este processo. Ou seja, maiores temperaturas do processo de combustão, maior geração de NOx – por outro lado, menores temperaturas do processo de combustão, menor geração de NOx. As principais vantagens deste do sistema EGR é o menor consumo total (pela remoção da necessidade de uso do ARLA32), a simplificação de instalação como sistema agregado ao motor e a facilidade de integração sobre a ótica do processo de encarroçamento do chassi.

Adicionalmente a estes dois sistemas, de fato, fazem-se necessárias também alternativas para a redução de emissão de Material Particulado (MP, ou Particulate Matter). Neste quesito, mesmo que os sistemas com SCR preconizem a redução do Material Particulado via combustão do motor, há tendência futura de aplicação de filtros de Material Particulado no sistema de escapamento em face aos limites exigidos. Para o caso do sistema EGR, tratativa já deve ser feita, pois a redução da temperatura do processo de combustão, que beneficia a redução de NOx, é precursor de geração de Material Particulado.

Em síntese, pode-se dizer que a adoção de soluções tecnológicas voltadas a redução de emissões foram fundamentais para o atendimento aos requisitos e legislações existentes e que, juntamente aos sistemas e subsistemas discutidos até aqui, representam de forma concreta os investimentos, desenvolvimentos e formação da cadeia produtiva de ônibus urbanos estabelecida no país.

1. Breve histórico, principais marcos e visão geral das atividades e produtos

As tecnologias limpas aplicadas na mobilidade urbana têm se apresentado como um dos principais focos da sociedade, com vistas a obter (Ministério Do Meio Ambiente, 2016):

- redução dos níveis de emissão de poluentes pelos veículos automotores para atender aos padrões de qualidade do ar, especialmente nos centros urbanos;
- promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como nos métodos e equipamentos para ensaios e medições de emissão de poluentes;
- criar programas de inspeção e manutenção para os veículos automotores em uso;
- promover a conscientização sobre a poluição do ar por veículos automotores;
- promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos disponíveis para a frota nacional, visando a redução de poluentes emitidos na atmosfera;
- estabelecer as condições de avaliação dos resultados alcançados.

A cadeia produtiva para os ônibus urbanos é um instrumento sistêmico que permite o desenvolvimento de diferentes tecnologias, voltadas a produção de bens e serviços, que se associam às boas práticas globais de sustentabilidade.

Pode-se citar que as arquiteturas desenvolvidas para o atendimento aos requisitos estabelecidos nas fases PROCONVE P₃ (1996) e P₄ (2000) contaram com a introdução de bombas injetoras de combustível com maiores pressões de trabalho e de sistemas de arrefecimento para o ar de admissão. Ainda, com a fase P₃ do PROCONVE, deu-se o início ao processo de introdução de componentes eletrônicos para os sistemas de controle do motor, bem como o desenvolvimento de injetores de combustível com controle eletrônico (VENTURA, 2009).

Evolutivamente, a fase P₅ do PROCONVE preconizou a introdução plena dos sistemas eletrônicos de gestão e controle do motor, seja quanto ao processo de injeção de combustível, quanto ao controle das diversas temperaturas, pressões e outros sinais relevantes. Viu-se também a aplicação de sistemas de injeção capazes de operarem em altíssimas pressões, que viabilizaram o maior controle do processo de combustão e, conseqüentemente, a redução da formação de produtos indesejáveis da combustão, como o material particulado, por exemplo.

A fase P₇, em face ao atendimento mais exigente das emissões de NO_x e de material particulado, demandou dos fabricantes de ônibus —além dos sistemas eletrônicos de gestão e controle citado na fase anterior— a aplicação de um sistema avançado de controle e diagnóstico de falhas de funcionamento do motor, com vistas a identificar e sinalizar estas falhas de forma direta ao condutor, e habilitar o acesso a assistência técnica de forma imediata. Este contexto se dá em função do entendimento de que qualquer falha de funcionamento do motor e dos sistemas agregados podem conduzir a uma operação incorreta e, conseqüentemente, os limites de emissão de gases estabelecidos não seriam, de fato, cumpridos. Adicionalmente, a fase P₇ contou com a introdução de sistemas de tratamento dos gases de escapamento, conforme citados, os sistemas SCR e EGR.

De forma geral, entre os anos de 2002 e 2012, diversas tecnologias avançadas foram introduzidas nos motores a combustão diesel, de forma a melhorar a eficiência e ao mesmo tempo reduzir as emissões dos gases de escapamento, que são nocivos à saúde humana.

Entre as tecnologias introduzidas neste período pode-se destacar:

- Bombas injetoras de alta pressão;
- Sistemas eletrônicos de gerenciamento e controle do motor;
- Unidades de injeção com gerenciamento eletrônico, permitindo múltiplas injeções no mesmo ciclo de combustão;
- Sistemas de alimentação de combustível de alta pressão (chamado de Common rail).

A introdução destas tecnologias permitiu a geração de novos conhecimentos e oportunidades tecnológicas para a oferta de novos produtos, preparados para operarem com diferentes tipos de combustíveis alternativos, a citar:

- Biodiesel – de diversas fontes, tendo a flexibilidade de misturas em diferentes proporções;
- GNV (Gás Natural Veicular) / Biogás – de diversas fontes e origens, como o metano e o biometano, por exemplo;
- LNG (Liquefied Natural Gas, ou Gás Natural Liquefeito).

Desta feita, enfatiza-se que a evolução dos requisitos ambientais estabelecidos pelo programa PROCONVE demandou o desenvolvimento de várias competências e conhecimentos técnicos na cadeia produtiva de ônibus urbanos. Ainda que no espectro da máquina térmica ou, dito de outra forma, do motor de combustão interna a diesel, estas tecnologias representaram certo nível de ruptura nos motores e seus sistemas associados.

Este fato provocou ressonância em toda a cadeia, exigindo, em alguma medida, a sua reconfiguração e imprimindo a revisão de sua estrutura, que de forma mais geral pode ser interpretada por uma mudança que foi guiada pelos seguintes passos:

- Reorganização da cadeia produtiva e o rearranjo da cadeia de insumos;
- Reposicionamento ou agrupamento de fornecedores,
- Reavaliação dos principais processos e macro competências.

Neste quesito, a próxima seção irá expandir o tecido da cadeia produtiva de ônibus urbanos no Brasil, com a sua configuração, atores e especificidades.

B. Cadeia produtiva de ônibus urbanos a diesel no Brasil

A cadeia produtiva brasileira dos ônibus urbanos pode ser dividida em 2 fluxos principais:

- Upstream ou à montante do OEM⁵ – fluxo da cadeia em que há a presença de fornecedores primários e secundários (dos materiais aos sistemas fornecidos para os OEMs);
- Downstream ou à jusante do OEM – fluxo da cadeia em que há a distribuição de produtos, vendas, serviços e manutenção.

A figura 10 apresenta um esquema da cadeia produtiva de ônibus urbanos (dos fornecedores de matéria-prima até os fornecedores de serviços e manutenção). Este esquema não é exaustivo e apresenta de forma simplificada e linear cada etapa da cadeia, representada pelo seu início com as matérias-primas (Materials), passando pelos diversos fornecedores (Tiers⁶) até ao OEM e perfazendo as etapas de distribuição ao mercado, a venda pelas concessionárias e os serviços (reparação, manutenção e outros).

Figura 10
Esquema de cadeia produtiva dos ônibus urbanos



Fonte: Elaboração própria.

⁵ OEM (*Original Equipment Manufacturer*) neste contexto é a própria montadora/encarroçadora de ônibus.

⁶ "Tiers" é a nomenclatura usada em língua inglesa para os fornecedores da cadeia. Quanto menor o número, mais próximo o fornecedor está do OEM, ou seja, o Tier 1 fornece diretamente ao OEM.

1. Cadeia produtiva de ônibus diesel no Brasil (upstream)





















A cadeia produtiva Upstream engloba os atores da cadeia, desde o fornecimento das matérias-primas até aos sistemas e subsistemas completos (pré-montados) para os OEMs. A figura 11 faz detalhamento de algumas categorias de atores, a saber:












- Fornecedores de matéria-prima e materiais;
- Tier 3: fornecedores de peças brutas (processos primários e de transformação);
- Tier 2: fornecedores de peças acabadas e subsistemas (autopeças);
- Tier 1: fornecedores de sistemas completos acabados.

A quadro 4 na sequência apresenta, de forma não exaustiva, as categorias dos atores e os fornecedores típicos, com enquadramento da arquitetura veicular em:

- Macro-sistema;
- Sistemas;
- Componentes.
- E para a cadeia:
- Materiais;
- Tier 3 – peças brutas;
- Tier 2 – autopeças;
- Tier 1 – sistemas / sistemas integrados;
- OEMs.

Quadro 4
Cadeia produtiva diesel – upstream (lista não exaustiva)

Macro Sistema	Cadeia Produtiva - Upstream										OEM	
	Sistemas	Componentes	Materiais		Tier 3		Tier 2		Tier 1			Sistemas Integrados
					Tier 3 - Peças Brutas		Tier 2 - Autopeças		Sistemas			
			Matéria Prima	Fornecedores Típicos	Processos Principais	Fornecedores Típicos	Processos Principais	Fornecedores Típicos	Processos Principais	Fornecedores Típicos		
Motor & Transmissão	Motor básico Transmissão	Motor: • Bloco do Motor • Cabeçote • Virabrequim, pistões e bielas • Eixo comando • Sistemas de válvulas • Câter e bomba de óleo Transmissão: • Carcaça Fundida • Elementos estruturais • Suspensão • Elementos de fixação	Ferro Fundido Aço Alumínio	• Gerdau • AcelorMittal • Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) • Novelis • CSN • Usiminas • Norsk Hydro • Braskem • Solvay • DOW Química • DuPont • BASF	Fundição Forjamento Estampagem	• Teksid • Tupy • thyssenkrupp • Dana • Aisin • Automotive • Martinrea • Honsel • Hubner • Delga • Castertech • Mahle • WHB	Estampagem Usinagem Montagem	• Tupy • WHB • Schulz • thyssenkrupp • Dana (Sifco) • Eaton • Martinrea • Tenneco • Hubner • Castertech	Usinagem Montagem Integração de sub-sistemas	• Meritor • Mahle • Federal Mogul • KS Pistões • Tenneco • Eaton • Dana • GKN	   	
	Agregados (motor)	Motor: • Bomba d'água • Ventiladores • Radiadores de Óleo • Filtro de óleo • Alternadores • Motor de partida • Compressores (AC e Freio) • Bomba de direção	Ferro Fundido Aço Alumínio Polímeros Elastômeros/ Borrachas	Não Aplicável - componentes montados	Estampagem Usinagem Injeção de plásticos Montagem	• Fram • Mann & Hummel • Parker Hannifin • Donaldson • GKN • Marelli Cofap • GKN • Marelli Cofap • Knorr Bremse • Borgwarner • Denso • Melco • Robert Bosch • Mahle • Mahle Behr • ZF • Valeo • Wabco	• Fram • Mann & Hummel • Parker Hannifin • Donaldson • GKN • Marelli Cofap • Knorr Bremse • Borgwarner • Denso • Melco • Robert Bosch • Mahle • Mahle Behr • ZF • Valeo • Wabco	• Fram • Mann & Hummel • Parker Hannifin • Donaldson • GKN • Marelli Cofap • Knorr Bremse • Borgwarner • Denso • Melco • Robert Bosch • Mahle • Mahle Behr • ZF • Valeo • Wabco	       			
	Tomada de Força (transmissão)	Transmissão: • Acoplamento elástico • Sistema de acionamento • Compressores • Bombas hidráulicas • Sensores									  	
	Sistema de Freio Auxiliar (transmissão)	Sistemas de freio auxiliar: • Radiador de óleo • Recirculação de fluídos • Comandos elétricos • Sensores • Programação de Software									  	
	Sistema de Injeção - Alta Pressão	• Injetores • Tubulação de Alta Pressão • Solenóides • Bomba de Combustível • Régua Common Rail • Bomba de Alta pressão							Não Aplicavel		• Robert Bosch	
	Sistema de Combustível - Baixa Pressão	• Tubulação de Combustível • Filtros de Combustível • Sensores									• Robert Bosch • Cummins Filtration  	

Macro Sistema	Cadeia Produtiva - Upstream										OEM
	Sistemas	Componentes	Materiais		Tier 3		Tier 2		Tier 1		
					Tier 3 - Peças Brutas		Tier 2 - Autopeças		Sistemas		
			Matéria Prima	Fornecedores Típicos	Processos Principais	Fornecedores Típicos	Processos Principais	Fornecedores Típicos	Processos Principais	Fornecedores Típicos	
Sistema de Admissão	<ul style="list-style-type: none"> Coletor de Admissão Valvula de Admissão Válvula admissão EGR Sensores Compressor do Turbo 								<ul style="list-style-type: none"> Holset (Cummins TT) Garrett- Honeywell Mahle Norgren 		
Sistema de Escapamento	<ul style="list-style-type: none"> Coletor de Escapamento Tubulação de Escapamento Valvula de alívio de pressão Válvula admissão EGR Sensores Carcaça e Turboalimentador (rotor) 	<ul style="list-style-type: none"> Ferro Fundido Aço Alumínio Polímeros Elastômeros/ Borrachas Materiais Cerâmicos 				<ul style="list-style-type: none"> Umicore – Catalisadores BASF – Catalisadores 		<ul style="list-style-type: none"> Tenneco Faurecia 	  		
Sistema de transmissão Eixo de Transmissão (sistema planetária, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Engrenagens Tomadas de forças Acoplamento da Caixa de Câmbio Sensores 	<ul style="list-style-type: none"> Ferro Fundido Aço Alumínio Polímeros Elastômeros/ Borrachas 		<ul style="list-style-type: none"> Cinpal Companhia Industrial de Peças Eaton Engrecon Leax 	<ul style="list-style-type: none"> Usinagem Montagem 	<ul style="list-style-type: none"> Cinpal Companhia Industrial de Peças Eaton Engrecon Leax 		<ul style="list-style-type: none"> Cinpal Companhia Industrial de Peças Eaton Engrecon Leax 	 		
Sistema Elétrico e Eletrônico (motor e transmissão)	<ul style="list-style-type: none"> Cabos e Conectores Sistema de energia Módulos Eletrônicos Sensores Programação e Software 	<ul style="list-style-type: none"> Cobre Alumínio Polímeros Elastômeros/ Borrachas 	<ul style="list-style-type: none"> Parapanema Eluma Caraíba Gerdau AcelorMittal CBA Novelis CSN Usiminas Hydro Braskem Solvay Dow Química DuPont BASF 	<ul style="list-style-type: none"> Fundição Injeção de Pásticos Estampagem 	<ul style="list-style-type: none"> Wetzel Pirelli cabos Aptiv Marelli Cofap 	<ul style="list-style-type: none"> Montagem Programação 	<ul style="list-style-type: none"> Lear Pk Cables Leone Autom ot ive 		<ul style="list-style-type: none"> Lear Aptiv Pk Cables Leoni Automotive Grupo Moura Johnson Controls Clarius Mahle Behr ZF Valeo Mann & Hummel 	  	
Sistema de Lubrificação (motor e transmissão)	<ul style="list-style-type: none"> Bomba de óleo Filtros de óleo Tubulações Solenóides Sensores 				<ul style="list-style-type: none"> Martinrea Wetzel 	<ul style="list-style-type: none"> Usinagem Montagem 	<ul style="list-style-type: none"> Mahle Behr ZF Valeo Mann & Hummel 		<ul style="list-style-type: none"> Mahle Behr ZF Valeo Mann & Hummel 	 	

Fonte: Elaboração própria baseada em múltiplas fontes secundárias referenciadas e listadas nas seções seguintes a este capítulo.

Principais fornecedores de materiais/insumos

A cadeia produtiva dos ônibus urbanos movidos a diesel se inicia pelos fornecedores de materiais/insumos primários como ferros fundidos, aço e alumínio. Como exemplos de atores pode-se destacar:

- Gerdau;
- Companhia Brasileira de Alumínio (CBA);
- Novelis;
- Norsk Hydro.

Fundada em 1901 em Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul, por João Gerdau e seu filho Hugo, a Gerdau é a maior empresa brasileira produtora de aço e uma das principais fornecedoras de aços longos e de aços especiais. No Brasil, produz aços planos e minério de ferro, além de transformar anualmente milhões de toneladas de sucata em aço (GERDAU, 2022).

A Companhia Brasileira de alumínio (CBA), é um conglomerado que atua de forma integrada em todas as etapas da cadeia produtiva da mineração ao produto final, fabricando alumínio para diversos mercados e promovendo a reciclagem da sucata oriunda dos processos produtivos (COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (CBA), 2022).

A Novelis é líder na produção de alumínio plano laminado e a maior recicladora global de alumínio. Possui grande integração entre as suas instalações nas diversas regiões, como: América do Norte, América do Sul, Europa e Ásia, posicionando-se como um ator global para laminação e reciclagem, em diversos setores, incluindo o automotivo (NOVELIS, 2022).

A Norsk Hydro foi fundada em 1905 e tem presença em 40 países ao redor do mundo. De capital norueguês, a empresa conta com 30.000 funcionários. O conglomerado conta com vários investimentos em suas indústrias, com grande foco na sustentabilidade. Um exemplo é a produção de alumínio de baixo carbono que é feita através do uso de energia renovável. Adicionalmente, possui unidades que tratam da reciclagem de alumínio, processamento de outros metais e de negócios em energia, com ênfase nas energias renováveis (NORSK HYDRO, 2022).

Fornecedores de autopeças e sistemas

Os ônibus urbanos a diesel contêm um conjunto de sistemas, subsistemas e componentes fornecidos pela cadeia produtiva à montadora, sendo que esta última tem a função principal de consolidar a arquitetura veicular através da montagem e integração destes sistemas. Com grande frequência encontram-se fornecedores comuns aos diversos sistemas embarcados, que podem atuar em diversos níveis da cadeia produtiva, vide exemplos apresentados na tabela 1. Sobre esta perspectiva, serão apresentados alguns fornecedores típicos de autopeças e sistemas que possuem relevância tecnológica e de competências em manufatura para o contexto de cadeia produtiva em análise. Destes, pode-se citar:

- Mahle;
- Eaton;
- Robert Bosch;
- ZF;
- Holset;
- Lear;
- PK Cables;
- Leoni Automotive.

Mahle

A Mahle é um dos grupos mais tradicionais do setor de autopeças no mundo e teve a sua origem na Alemanha em 1920 (Mahle, 2022). No mercado brasileiro de autopeças atua na fabricação e comercialização de componentes de motores a combustão interna e filtros automotivos, tendo a diretriz de realizar localmente, nos mercados em que atua, a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos de produção.

O grupo atua no Brasil desde os anos 50 e possui um amplo portfólio de produtos e soluções integradas desenvolvidas de forma customizada em parceria com os clientes. Conta com 8 plantas industriais distribuídas no país, tendo como principais competências:

- desenvolvimento de produtos automotivos (sistemas mecânicos, sistemas de combustível, sistemas de lubrificação e filtragem);
- ciências dos materiais, processos de fabricação, serviços avançados, eletroeletrônica.

Quadro 5
Informações – Mahle

Empresa	Mahle Metal Leve do Brasil
Origem Capital	Alemanha
Principais Produtos	Pistões, Bielas, Filtros do Ar, Filtros de Óleo, Filtros do Combustível, Filtros de Ar para Cabines, Filtros de Carvão Ativado, Separadores do Óleo, Camisas de Cilindro, Pinos de Pistão, Eixos Comando, Tuchos e Balancins, Bronzinas, Anéis de pistão e buchas
Estabelecimento no Brasil	1951
Localização (Matriz)	Mahle Metal Leve S.A AV Ernst MAHLE, 2000 13846-146 Mogi-Guaçu-SP, Brasil
Receita Líquida 2019 (milhões de reais)	2 526,2
Número de Funcionários	79 000 (Global)
Número de Plantas	7
Centro de P&D	1

Fonte: Elaboração própria com base em MAHLE (2022).

Eaton

Fundada nos Estados Unidos em 1911, a Eaton iniciou suas atividades no Brasil em 1996 com a aquisição das operações da empresa Equipamentos Clark Ltda, que já estava estabelecida no país desde 1959 (EATON, 2022a).

Quadro 6
Informações – Eaton

Empresa	Eaton do Brasil
Origem Capital	Irlanda
Principais Produtos	Transmissões e componentes agrícolas, conjuntos montados para ar-condicionado e direção hidráulica, bombas de palhetas e de pistões, componentes para transmissão, sistemas de embreagem, válvulas de admissão e escape, sistema de roletes para válvulas de admissão e escape, sensores, diferenciais para eixos traseiros, transmissões mecânicas, correias automotivas.
Estabelecimento no Brasil	1996
Localização (Matriz)	R Clark, 2061 – Valinhos – SP
Receita Líquida 2021 (milhões de dólares) Fonte: (EATON, 2022b)	19 628
Número de Funcionários (global)	86 000
Número de Plantas	7 (1 exclusiva para transmissões agrícola)
Centro de P&D	1

Fonte: Elaboração própria a partir de EATON, (2022a).

Tem como principais competências:

- desenvolvimento de produtos automotivos (sistemas mecânicos, sistemas hidráulicos, elétricos, de transmissão e embreagem);
- ciências dos materiais, processos de fabricação, serviços avançados.

Robert Bosch

A Robert Bosch é uma empresa de origem alemã que produz componentes automotivos e sistemas completos para os fabricantes de ônibus urbanos. A empresa foi fundada em 1886 por Robert Bosch, que recebeu o seu nome (BOSCH, 2022).

O grupo Bosch expandiu-se para vários continentes e vários países, tendo o início das suas operações no Brasil em 1954. Suas principais unidades estão localizadas nas cidades de Campinas, São Paulo, Sorocaba, Simões Filho e Curitiba. Emprega atualmente cerca de 8.200 colaboradores no país (2020), com faturamento aproximado de 5,1 bilhões de reais anuais (2020).

Suas principais competências podem ser listadas, como segue:

- desenvolvimento de produtos automotivos (sistemas mecânicos, sistemas de gerenciamento eletrônico, sistemas de ignição, sistemas de combustível, sistemas de diagnóstico, sistemas de freio, sistemas de filtragem);
- ciências dos materiais, processos de fabricação, eletroeletrônica, protocolos de comunicação, interfaces entre sistemas, conectividade.

Quadro 7
Informações – Robert Bosch

Empresa	Bosch do Brasil
Origem Capital	Alemanha
Principais Produtos	Peças e componentes automotivos (incluindo freios, sistemas de controles, alternadores, velas e cabos de ignição, sistemas de direção, bombas de combustível, sistemas de filtragem, motores de partida, atuadores elétricos, unidades de controle eletrônico, integração de sistemas de controle, sistemas antitravamento de rodas (ABS), sistemas de estabilidade (ASR), sistemas eletrônicos de frenagem (EBS), sistemas de controle térmico, componentes eletromecânicos)
Estabelecimento no Brasil	1954
Localização (Matriz)	Via Anhanguera, Km 98 Campinas – São Paulo
Faturamento 2020 (bilhões de reais) Fonte: (BOSCH, 2021)	5,1
Número de Funcionários (Brasil)	8 200
Número de Plantas	10
Centro de P&D	2

Fonte: Elaboração própria a partir de (BOSCH, 2021).

ZF

A ZF do Brasil foi a primeira fábrica do grupo a se instalar fora da Alemanha. O início de sua operação foi em meados de 1958, na cidade de São Caetano do Sul, sendo que naqueles anos a indústria automotiva começava a estabelecer no país, requerendo a formação de cadeia produtiva para se desenvolver (ZF, 2022a).

O primeiro produto fabricado pela unidade brasileira foi um conjunto de transmissão fornecido para o veículo DKW Vemag em 1959. Nas décadas que se seguiram, os volumes no país aumentaram continuamente e a capacidade produtiva da unidade localizada no ABC paulista chegou ao seu limite ao final da década de 70. Nesse contexto, uma nova planta foi construída, com 700 mil metros quadrados, na cidade de Sorocaba. Em 1997, como resultado de um plano de realocação dos processos produtivos, transferiu-se totalmente a produção de São Caetano do Sul para a planta de Sorocaba.

Em face ao contínuo crescimento do mercado e ao aumento do portfólio de produtos da empresa, o grupo ampliou seu número de plantas no país (de 2 para 8), a citar as unidades de Araraquara, Campinas, Engenheiro Coelho, Itu, Limeira, Sorocaba, Sumaré e São Bernardo do Campo. Suas principais competências são:

- desenvolvimento de produtos automotivos (sistemas hidráulicos, sistemas de transmissão, sistemas de direção, sistemas de freio, sistemas de embreagem, sistemas eletrônicos embarcados);
- ciências dos materiais, processos de fabricação, eletroeletrônica, interfaces entre sistemas, conectividade.

Quadro 8
Informações – ZF

Empresa	ZF do Brasil
Origem Capital	Alemanha
Principais Produtos	Sistemas de direção, hidráulicos, sistemas de controle veiculares, sistemas de freio, de transmissões, embreagens, amortecimento, segurança veicular, integração de software e sistemas veiculares
Estabelecimento no Brasil	1958
Localização (Matriz)	Rodovia Anhanguera km 147 Limeira - SP
Faturamento 2021 (bilhões de Euros - América do Sul)	1,1
Número de Funcionários (Global)	157 549
Número de Plantas	7
Centro de P&D	1

Fonte: Elaboração própria a partir de ZF (2022).

Holset

A Holset é uma empresa especializada no desenvolvimento e produção de turbo compressores para veículos comerciais a diesel e grupos geradores. Tem origem no Reino Unido, tendo sido fundada em 1952, mas pertence atualmente ao conglomerado industrial norte americano Cummins Inc, sediado em Columbus, Indiana (HOLSET, 2022). A empresa se estabeleceu no Brasil em 1987, sendo produtora e fornecedora de turbo compressores para a América do Sul, com 4 diferentes tecnologias:

- i) Turbos compressores com geometria fixa;
- ii) Turbos compressores valvulados com Waste Gate (WG);
- iii) Turbos compressores com geometria variável (VGT);
- iv) Turbos compressores com sistema de duplo estágio (2-Stage).

Quadro 9
Informações – Holset

Empresa	Holset Cummins Turbo Technologies
Origem Capital	Estados Unidos
Principais Produtos	Turbo compressores
Estabelecimento no Brasil	1987
Localização (Matriz)	R. Jati - Jardim Cumbica, Guarulhos
Faturamento 2020 (milhões de dólares)	Não Disponível
Número de Funcionários (Global)	Não disponível
Número de Plantas	1

Fonte: Elaboração própria a partir de Holset Cummins Turbo Technologies (<https://www.cummins.com/pt-br/br/produtos/turbos>).

Tem como principais competências:

- desenvolvimento de turbo compressores para aplicações automotivas e estacionárias;
- ciências dos materiais, processos de fabricação, eletroeletrônica, fenômenos termodinâmicos, sistema de escapamento, sistemas auxiliares de frenagem de escapamento.

Lear

A Lear foi fundada em Detroit em 1917 e batizada naquela época como “American Metal Products”. É fornecedora da maioria dos fabricantes de veículos no mundo e está localizada em 38 países, com seu escritório central em Michigan, EUA (LEAR, 2022a).

No Brasil está estabelecida desde 1995, com sede em São Paulo (ABERJE, 2019), tendo 5.800 funcionários distribuídos em 7 unidades de produção: Betim (MG), Caçapava (SP), Navegantes (SC), Joinville (SC), Goiana (PE), São Bernardo do Campo (SP) e Camanducaia (MG).

A Lear apresenta como principais competências:

- desenvolvimento de sistemas elétricos, chicotes elétricos, unidades de controle eletrônicas, bancos automotivos;
- eletroeletrônica, hardware e software, sistemas eletrônicos complexos, segurança veicular e dinâmica veicular.

Quadro 10
Informações – Lear

Empresa	Lear do Brasil
Origem Capital	Estado Unidos
Principais Produtos	Sistemas elétricos, cabos elétricos, conectores, sistemas de conexão elétricos, sistemas de distribuição elétrica, sistemas de arquitetura avançada, unidades de telecomunicações, unidades de controle eletrônicos, sistemas de conectividade digitais, sistemas de posicionamento, sistemas de monetização e serviços conectados, bancos automotivos
Estabelecimento no Brasil	1995
Localização (Matriz)	Michigan EUA
Faturamento 2021 (milhões de dólares - Global) Fonte: (LEAR, 2022b)	19 263
Número de Funcionários (Brasil)	5 800
Número de Plantas (Brasil)	7

Fonte: Elaboração própria a partir de LEAR (2022b).

PK Cables

A PK Cables iniciou a suas atividades em 1969 na cidade de Kempele, Finlândia, como uma pequena fábrica com apenas 40 funcionários, produzindo cabos elétricos. A empresa estabeleceu as suas operações no Brasil em 1998 (PKC GROUP, 2022). Com a evolução do mercado, foram abertas 3 unidades de fabricação: Campo Alegre (SC), Curitiba (PR) e Itajubá (MG).

Em 2015, em face a crise econômica brasileira, a empresa encerrou as atividades da filial de Itajubá (MG) e Curitiba (PR), dada a grande queda do volume de produção de veículos comerciais naquele momento (O ESTADO DE MINAS, 2016). Em 2019, a família indiana Motherson fez uma oferta de compra global dos ativos do grupo e incorporou a PK Cables ao seu conglomerado industrial.

Tendo experiência em sistemas elétricos para veículos automotores, a PK Cables fabrica os sistemas de distribuição elétrica, componentes elétricos, sistemas eletrônicos veiculares, cabos, chicotes para veículos e conectores elétricos. Desta feita, tem competências em:

- desenvolvimento de sistemas elétricos, chicotes elétricos;
- eletroeletrônica, hardware e software, sistemas eletrônicos complexos, conectividade e internet das coisas.

Quadro 11
Informações – PK Cables

Empresa	PK Cables Brasil Ltda
Origem Capital	Índia (Finlândia)
Principais Produtos	Sistema de distribuição elétrica, componentes elétricos sistemas eletrônicos veiculares, cabos e chicotes para veículos, conectores elétricos
Estabelecimento no Brasil	1998
Localização (Matriz)	Rod. dos Móveis, 3888 - Campo Alegre, SC
Faturamento 2021 (milhões de dólares - Global)	Não Disponível
Número de Funcionários (Brasil)	Não Disponível
Número de Plantas (Brasil)	1

Fonte: Elaboração própria a partir de PKCABLES (2022), A esse respeito, consultar: <https://www.pkcgroup.com/home-page.html>.

Leoni Automotive

A empresa começou as suas atividades com uma pequena oficina em Nuremberg, Alemanha, em 1569 por Anthoni Fournier com a fabricação de louças. Em 1928 deu-se o início ao processo de fabricação de fios esmaltados, e a partir de 1943 iniciou-se a produção de cabos elétricos isolados com PVC.

Quadro 12
Informações – Leoni Automotive

Empresa	Leoni Automotive do Brasil Ltda
Origem Capital	Alemanha
Principais Produtos	Cabos automotivos, sistemas elétricos, sistemas de comunicação e rede, fibra ótica, veículos especiais, processos industriais, cabos e chicotes para máquinas e equipamentos
Estabelecimento no Brasil	2014
Localização (Matriz)	Estrada Municipal, 500 Itu – SP
Faturamento 2021 (milhões de Euros - Global)	5 100
Número de Funcionários (Global)	101 000 (500 Brasil – 2017)
Número de Plantas (Brasil)	1

Fonte: Elaboração própria a partir de LEONI (2022).

Com faturamento bruto de 5,1 bilhão de euros registrado em 2021, o grupo Leoni possui aproximadamente 101.000 funcionários em 72 subsidiárias alocadas em 28 países (LEONI, 2022).

No Brasil a empresa se estabeleceu em 2014, com planta industrial em Itu (SP), contando com aproximadamente 500 funcionários (2017). Suas competências se referem ao:

- desenvolvimento de sistemas elétricos, chicotes elétricos;
- eletroeletrônica, fibra ótica, conectividade e internet das coisas.

Em síntese, os fornecedores apresentados nesta seção revelam o conjunto de competências existentes na cadeia produtiva dos ônibus urbanos a diesel, que contribuem para assegurar a entrega de componentes e sistemas para os OEMs, que montam e integram estes sistemas para a obtenção de um veículo completo. Em face aos exemplos vistos, percebe-se o elevado grau de maturidade no fornecimento dos itens demandados, seja quanto ao atendimento dos volumes, seja nos requisitos funcionais e de qualidade dos diversos componentes e sistemas.

Montadoras e empresas produtoras de carrocerias para ônibus urbanos (OEMs)

Nesta seção serão mapeados alguns montadores de chassis e empresas encarroçadoras presentes na cadeia produtiva, a saber:

- Montadoras de chassis de ônibus urbanos
 - Mercedes-Benz do Brasil;
 - Volkswagen Caminhões e Ônibus;
 - Volvo do Brasil;
 - Scania Latin America.
- Encarroçadoras de ônibus urbanos
 - Marcopolo;
 - Caio Induscar.

Mercedes-Benz do Brasil

Segundo a empresa, a sua primeira fábrica foi inaugurada em 28 de setembro de 1956 em São Bernardo do Campo, São Paulo, sendo:

- a maior planta do grupo Daimler fora da Alemanha para veículos comerciais Mercedes Benz e;
- a única a produzir, em um mesmo local, caminhões, chassis de ônibus, cabinas e agregados, como motores, câmbios e eixos.

A Mercedes Benz tem como objetivo ser referência na produção e fornecimento de veículos comerciais agregados, componentes e serviços (MERCEDES-BENZ DO BRASIL, 2022). A planta em São Bernardo do Campo conta com um avançado centro de desenvolvimento tecnológico para veículos comerciais Mercedes Benz com 30 anos de existência, sendo o maior em atividade da Daimler fora da Alemanha.

Isto permitiu tornar São Bernardo do Campo um polo de desenvolvimento local e um Centro mundial de competência da Daimler para o desenvolvimento de chassis de ônibus, sendo destaque o pioneirismo da unidade nos testes de uso de combustíveis alternativos, como o diesel de cana e o biodiesel.

No Brasil, o grupo está organizado em 3 unidades produtivas, a saber:

- i) São Bernardo do Campo: que concentra a produção de chassis de ônibus, além da produção de caminhões;
- ii) Juiz de Fora: que produz o modelo de caminhão extrapesado e, também, é responsável pela soldagem e pintura de todas as cabinas dos caminhões produzidas no país;

- iii) Campinas: que é responsável por serviços, peças de reposição e pelo processo de produção de componentes remanufaturados.

Principais Competências:

As principais competências que podem ser destacadas são:

- desenvolvimento de produtos: caminhões, ônibus, combustíveis verdes e de baixo carbono, suspensões, chassis, motores, sistemas elétricos, sistemas eletrônicos, construção de protótipos, testes, simulações virtuais, sistemas de conectividade, sistemas de controle;
- dinâmica veicular, ergonomia, estruturas veiculares, ciências dos materiais, processos de fabricação, infraestrutura industrial, máquinas e equipamentos, usinagem, montagem, serviços.

Cita-se que a solidez de conhecimento, e a existência de recursos físicos e produtivos disponíveis, habilitam o posicionamento de destaque da empresa no desenvolvimento de novos produtos. O conglomerado industrial conta ainda com um campo de provas na cidade de Iracemápolis.

Quadro 13
Informações – Mercedes-Benz

Empresa	Mercedes-Benz do Brasil
Origem Capital	Alemanha
Principais Produtos	Caminhões, chassis de ônibus, peças e serviços
Estabelecimento no Brasil	1956
Localização (Matriz)	Av. Alfred Jurzykowski, 562 - Paulicéia, São Bernardo do Campo
Faturamento 2021 (milhões de Euros - Global)	39 764
Número de Funcionários (Brasil)	Aproximadamente 8 500
Número de Plantas (Brasil)	3
Centro de P&D	1
Campo de Provas	1

Fonte: Elaboração própria com base em MERCEDES-BENZ DO BRASIL (2022).

Dentre os produtos existentes da empresa, serão apresentados alguns modelos de chassis de ônibus produzidos localmente:

- Chassi para ônibus OF1724L: é preparado para receber carrocerias até 13,2 m e equipado com suspensão a mola e motor frontal de 6 cilindros e 238 cv. Indicado para aplicações urbanas (inclusive BRT) intermunicipais, rodoviária e de fretamento (MERCEDES-BENZ, 2022c).
- Chassi para ônibus OF1519: com um PBT (Peso Bruto Total) de 15 toneladas, é equipado com suspensão a molas e motor frontal de 4 cilindros com 185 cv de potência e 700 Nm de torque máximo. É recomendado para aplicações em linhas urbanas e de fretamento, com carrocerias de até 11 m (MERCEDES-BENZ, 2022c).
- Chassi para ônibus OH1621L: é equipado com suspensão pneumática dianteira e traseira. Conta com um motor na parte traseira do veículo de 4 cilindros, com 208 cv de potência e torque de 780 Nm. Pode receber carrocerias de até 11 m e pode chegar até 12 m com entre eixos alongado (MERCEDES-BENZ, 2022e).
- Chassi para ônibus urbano - O500U e O500UDA - Articulado: é equipado com suspensão pneumática dianteira e traseira. O modelo O500U conta com um motor de 6 cilindros de

256 cv de potência e torque de 900 Nm. Por outro lado, a versão articulada O500UDA é equipada com o motor OM457 LA de 354cv de potência. Em ambos os modelos, os motores são localizados na parte traseira dos veículos. Estes chassis foram desenvolvidos para receberem carrocerias com piso baixo e sistema de rebaixamento da suspensão, que permite maior conforto no embarque e desembarque dos passageiros (MERCEDES-BENZ, 2022f).

Certamente, o tipo de pavimentação, o perfil de uso do veículo, os fatores de carga, dentre outros, são determinantes para a escolha adequada da tecnologia do chassi.

Volkswagen Caminhões e Ônibus

As atividades da Volkswagen Caminhões e Ônibus (VWCO) se iniciaram no ano de 1981, quando a Volkswagen AG comprou 100% do capital da Chrysler Motors do Brasil Ltda (AGÊNCIA TRANSPORTA BRASIL, 2022). Naquele ano, deu-se a produção dos primeiros caminhões na fábrica em São Bernardo do Campo (SP), que mais tarde teve sua operação transferida para Resende (RJ).

Em 2002, a Volkswagen Caminhões e Ônibus alcançou 30% de participação no mercado brasileiro e em 2009 foi adquirida pelo grupo Traton, passando a fazer parte de um conglomerado de grandes empresas produtoras de veículos comerciais do grupo Volkswagen AG, do qual marcas renomadas como Scania, RIO, MAN e Navistar fazem parte.

Foi inovadora ao introduzir um novo conceito de gestão de fornecimento, que estabeleceu novos parâmetros nas relações entre o fabricante e seus principais fornecedores: o chamado “Consórcio Modular”.

O consórcio modular consiste em um sistema no qual os fornecedores dividem a responsabilidade com a empresa em relação à montagem e a qualidade dos produtos da marca, gerando o aumento do nível de qualidade, maior produtividade e a redução de custo no processo produtivo (VWCO, 2022b).

O consórcio modular conta com um conjunto de empresas parceiras, das quais pode-se citar:

- Maxion (chassi);
- Meritor (eixos e suspensão);
- Remon (conjunto rodas e pneus);
- Aerthra (armação da cabine);
- Powertrain (motor);
- Kroschu (acabamento da cabine).

De fato, o controle de qualidade do produto permanece sob a total responsabilidade da VWCO e objetiva-se a redução nos custos de produção, investimento, estoques, tempo de produção e, principalmente, aumento de agilidade na produção de veículos diferenciados. No consórcio modular os parceiros não participam do lucro final dos produtos pois continuam sendo fornecedores. Contudo, são impelidos a montarem as peças que vendem, estratégia que aumenta a produtividade e torna a montagem mais eficiente e flexível (VWCO, 2022b). Além disso, na fábrica, compartilham com a VWCO toda a infraestrutura, incluindo o restaurante e o ambulatório.

A Volkswagen Caminhões e Ônibus tem em suas instalações em Resende os recursos necessários para o desenvolvimento de novos produtos, bem como pistas de teste de veículos completos, laboratórios para desenvolvimento de motores, áreas para desenvolvimento de protótipos e insumos para o desenvolvimento de modelos digitais de produtos.

Dentre as suas competências, se destacam:

- desenvolvimento de produtos:
 - caminhões, ônibus, combustíveis verdes e de baixo carbono, ônibus e caminhões elétricos e híbridos, suspensões, chassis, motores, sistemas elétricos, sistemas eletrônicos, construção de protótipos, testes, simulações virtuais, sistemas de conectividade, sistemas de controle;
- dinâmica veicular, ergonomia, estruturas veiculares, ciências dos materiais, processos de fabricação, infraestrutura industrial, máquinas e equipamentos, usinagem, montagem, serviços.

Para manter a sua competitividade, a Volkswagen Caminhões e Ônibus combina as suas competências intrínsecas de desenvolvimento de produtos, com aquelas existentes nos fornecedores presentes no consórcio modular.

Quadro 14
Informações – Volkswagen Caminhões e Ônibus

Empresa	Volkswagen Caminhões e Ônibus
Origem Capital	Alemanha
Principais Produtos	Caminhões, Chassis de Ônibus, Peças e Serviços
Estabelecimento no Brasil	1981
Localização (Matriz)	Rua Volkswagen, 100 Resende – RJ
Faturamento 2021 (milhões de Euros - Global)*	2 113
Número de Funcionários (Brasil)	Não disponível
Número de Plantas (Brasil)	1
Centro de P&D	1
Campo de Provas	1

Fonte: Elaboração própria com base em VWCO (2022).

Dentre os produtos existentes da empresa, seguem alguns modelos de chassis de ônibus produzidos localmente:

- Chassi para ônibus 15.190 OD/ODS: Pode ser equipado com suspensão pneumática e conta com um motor, localizado na parte frontal do veículo, de 4 cilindros de 186 cv potência e torque de 700 Nm. Desenvolvido para transporte urbano em linhas distribuidoras e alimentadoras, podendo operar como midibus ou fretamento de curtas e médias distancias. Pode receber carrocerias de 11 metros e Peso Bruto Total (PBT) de 15 toneladas (VWCO, 2022c).
- Chassi para ônibus 17.280 OT: Equipado com um motor traseiro de 6 cilindros de 277 cv de potência e torque de 1050 Nm. Foi desenvolvido para transporte urbano ou fretamento (VWCO, 2022d).
- Chassi para ônibus urbano 18.280 OTS LE: equipado com um motor traseiro de 6 cilindros de 277 cv de potência e torque de 1050 Nm, foi desenvolvido para o transporte urbano com piso baixo, a fim de facilitar as operações de embarque e desembarque (VWCO, 2022e).

Pode-se apontar que o modelo de produção da Volkswagen Caminhões e Ônibus, através do consórcio modular, habilita o acesso direto as competências, conhecimentos e recursos dos seus fornecedores, o que potencialmente pode alavancar o avanço tecnológico da empresa e dos seus produtos. Este modelo preconiza a manutenção de parcerias de longo prazo, com investimentos sustentáveis que garantam a rentabilidade dos parceiros.

Destaca-se que durante a pandemia, no ano de 2021, o retorno financeiro sobre as vendas aumentou em +8,1% e este fato pode ser o efeito benéfico prático do modelo do consórcio modular (TRATON, 2022).

Volvo do Brasil

O grupo Volvo é um dos maiores fabricantes mundiais de caminhões, ônibus, equipamentos de construção, motores marítimos e industriais. Se estabeleceu no Brasil em 1977 na região de Curitiba devido à proximidade com o Porto de Paranaguá e, segundo os executivos da época, também havia a presença de escolas técnicas e oferta de mão de obra especializada.

O processo produtivo iniciou em 1979, ano em que marcou também a produção dos primeiros motores e chassis de ônibus B58, equipados com motor central (VOLVO, 2022a).

O grupo Volvo tem sede em Curitiba (PR), onde produz caminhões, ônibus e motores, contando também com as unidades de Pederneiras (PR) (produção de equipamentos de construção) e de São José dos Pinhais (PR) (centro de distribuição de peças), empregando diretamente cerca de 4300 funcionários (VOLVO, 2022a).

Pode-se apontar as seguintes competências:

- desenvolvimento de produtos: caminhões, ônibus, combustíveis verdes e de baixo carbono, ônibus híbridos, suspensões, chassis, motores, sistemas elétricos, sistemas eletrônicos, construção de protótipos, testes, simulações virtuais, sistemas de conectividade, sistemas de controle;
- dinâmica veicular, ergonomia, estruturas veiculares, ciências dos materiais, processos de fabricação, infraestrutura industrial, máquinas e equipamentos, usinagem, montagem, serviços.

Recentemente, o presidente da Volvo no Brasil sinalizou que o grupo pretende investir no país R\$1,5 bilhão em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e serviços até 2025. Mesmo neste quadro positivo de investimentos, ressaltou que o ano de 2022 exigirá grande atenção em face aos desafios da cadeia produtiva, no que diz respeito a capacidade e aumento de custos (ISTO É DINHEIRO, 2022).

Quadro 15
Informações – Volvo do Brasil

Empresa	Volvo do Brasil
Origem Capital	Suécia
Principais Produtos	Caminhões, chassis de ônibus, motores industriais e marítimos, máquinas e equipamentos de construção, peças e serviços
Estabelecimento no Brasil	1977
Localização (Matriz)	Av. Juscelino Kubitschek de Oliveira, 2600 - Cidade Industrial de Curitiba, Curitiba - Paraná
Faturamento 2021 (milhões de Euros - Global)	372 216
Número de Funcionários (Brasil)	4 300
Número de Plantas (Brasil)	3 (1 centro de distribuição)
Centro de P&D	1
Campo de Provas	0

Fonte: Elaboração própria com base em VOLVO (2022b).

O grupo Volvo tem implementado historicamente algumas inovações nos transportes urbanos, especialmente na região de Curitiba, tendo participado ativamente da concepção dos corredores de ônibus e sistemas BRT (Bus Rapid Transit) da cidade. Pode-se destacar também os testes com ônibus híbridos (VOLVO, 2022a).

Dentre os produtos existentes da empresa, seguem alguns modelos de chassis de ônibus produzidos localmente:

- Chassi para ônibus B270F: equipado com um motor dianteiro de 6 cilindros de 270 hp de potência e torque de 950 Nm, foi desenvolvido para transporte urbano ou fretamento (VOLVO, 2022c).
- Chassi para ônibus urbano B250R: equipado com um motor traseiro de 6 cilindros de 250 hp e torque de 950 Nm, foi desenhado para o transporte urbano, tendo o piso baixo para facilitar as operações de embarque e desembarque de passageiros.
- Chassi para ônibus B340M: equipado com um motor central de 12 litros, pode chegar até 30 metros de comprimento e até 300 passageiros na versão biarticulada. Voltado para a aplicação BRT, permite a instalação de piso plano e portas nos dois lados para facilitação do embarque e desembarque.

Em sua trajetória no Brasil, a Volvo do Brasil tem se posicionado com protagonismo no fornecimento de chassis de ônibus para transportes urbanos, via as competências e inovações locais, que são somadas as existentes em sua matriz na Suécia.

Scania Latin America

A Scania iniciou as suas atividades no Brasil em 1957 no bairro do Ipiranga em São Paulo, produzindo seu primeiro caminhão no ano seguinte. Em 1962, a cidade de São Bernardo do Campo (SP) foi escolhida para receber a planta brasileira, a primeira fora da Suécia (SCANIA, 2022a).

Atualmente a fábrica possui uma área de aproximadamente 400.000 m², sendo a única planta fora da matriz a produzir o produto completo. Possui mais de 4.000 funcionários, tendo linhas de fabricação de cabines, chassis, motores, transmissão, além das áreas administrativas, exportação de componentes e a área de Pesquisa e Desenvolvimento (SCANIA, 2022a).

O grupo Scania CV AB e coirmão do grupo Volkswagen Caminhões e Ônibus, sediado em Resende (RJ), sendo ambos pertencentes a holding TRATON, que é um braço da Volkswagen AG.

A Scania anunciou em 2019 um ciclo de investimentos no valor de R\$ 1,4 bilhões, direcionados principalmente a modernização de áreas da planta, bem como ao projeto de novos produtos, incluindo investimentos de R\$ 75 milhões para a ampliação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. Naquele momento se preconizou o foco direto na oferta das motorizações a gás natural e biogás (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2019).

O Centro de Pesquisa e Desenvolvimento abriga 250 engenheiros que atuam diretamente com as equipes na Suécia, sendo fundamental para a operação pois é o responsável global pelos testes de validação dos veículos em condições severas (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2019).

Cita-se também um conjunto de investimentos adicionais de 2,6 bilhões realizados na operação brasileira em 2020 (ISTO É DINHEIRO, 2020).

Dentre as competências existentes, pode-se destacar:

- desenvolvimento de produtos:
 - caminhões, ônibus, combustíveis verdes e de baixo carbono (gás e biogás), suspensões, chassis, motores, sistemas elétricos, sistemas eletrônicos, construção de protótipos, testes, simulações virtuais, sistemas de conectividade, sistemas de controle;
- dinâmica veicular, ergonomia, estruturas veiculares, ciências dos materiais, processos de fabricação, infraestrutura industrial, máquinas e equipamentos, usinagem, montagem, serviços.

Quadro 16
Informações – Scania Latin America

Empresa	Scania Latin America
Origem Capital	Suécia
Principais Produtos	caminhões, chassis de ônibus, motores industriais e marítimos, peças e serviços
Estabelecimento no Brasil	1957
Localização (Matriz)	Av. José Odorizzi, 151 - Vila Euro, São Bernardo do Campo - SP
Faturamento 2021 (milhões de Euros - Global)	13 927
Número de Funcionários (Brasil)	~ 4 000
Número de Plantas (Brasil)	1
Centro de P&D	1
Campo de Provas	0

Fonte: Elaboração própria a partir de Scania (2022) (Consultar, <https://www.scania.com/br/pt/home.html>).

A Scania tem sua estratégia voltada a integração e globalização de competências e produtos, seguindo o conceito de desenvolvimento de produto modular, que racionaliza o número de componentes no processo produtivo.

Localmente, como exemplo, os seguintes chassis de ônibus são produzidos:

- Chassi para ônibus urbano KIA6 6X2/2: equipado com um motor diesel traseiro de 9 ou 13 litros, 5 ou 6 cilindros, com opções de 250, 310, 360, 400 e 440 cv de potência. Há ainda as opções de 280 e 320 cv nas versões a gás natural ou biogás. Se volta a aplicação BRT, permitindo a instalação de piso plano e portas nos dois lados, a fim de facilitar as operações de embarque e desembarque de passageiros.
- Chassi para ônibus urbano K250UB 4x2 e K250IB 4x2: equipados com um motor diesel traseiro de 9 litros, 5 cilindros, com 250 cv de potência e torque de 1150 Nm entre 1000 e 1300rpm. Dotados de suspensão dianteira e traseira a ar, piso baixo, permite o ajoelamento dianteiro ou lateral do veículo para facilitar as operações de embarque e desembarque de passageiros. A diferença nos chassis se dá em variações na distância entre eixos (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2019b).

No contexto dos investimentos citados, a Scania tem seguido a trajetória de desenvolvimento local de produtos, dado o conjunto de competências que a habilita a ter este posicionamento. O lançamento de versões de motorizações movidas a gás ou biogás explicita este quesito. Além disto, os investimentos têm-se voltado aos processos produtivos, com a racionalização das etapas de fabricação e das estratégias de manufatura, atributos que reforçam o status quo da cadeia produtiva corrente.

Na sequência desta seção, se apresentam dois exemplos de empresas encarroçadoras que têm o papel de receber o chassi e implementar a estrutura da carroceria e todos os elementos ergonômicos e de segurança. Assim, garante-se que a arquitetura veicular cumpra plenamente sua função de transportar pessoas com segurança e conforto.

Marcopolo S/A

A Marcopolo foi fundada em 1949 na cidade de Caxias do Sul (RS), em um pequeno galpão chamado de Nicola & Cia. Desde o início, os fundadores da Marcopolo tinham a estratégia de investir continuamente em aprimoramento, tecnologia e expansão e esta visão contribuiu para que a empresa se tornasse uma referência mundial no encarroçamento de ônibus, com mais de 400.000 unidades produzidas (MARCOPOLO, 2022a). Está posicionada entre as maiores fabricantes globais, com plantas

industriais nos 5 continentes, sendo que os veículos produzidos circulam nas cidades e estradas de mais de 100 países (MARCOPOLO, 2022a).

Dentre as competências existentes, pode-se destacar:

- desenvolvimento de produtos e integração das arquiteturas de sistemas para ônibus: suspensões, chassis, motores, sistemas elétricos, sistemas eletrônicos;
- dinâmica veicular, ergonomia, estruturas veiculares, construção de protótipos, testes, simulações virtuais, ciências dos materiais, processos de fabricação, usinagem e montagem.

Quadro 17
Informações – Marcopolo

Empresa	Marcopolo SA
Origem Capital	Brasil
Principais Produtos	Carrocerias de Ônibus
Estabelecimento no Brasil	1949
Localização (Matriz)	Av. Rio Branco, 4889 – Caxias do Sul, RS
Faturamento 2021 (bilhões de reais - Global)	3 499,4
Número de Funcionários (Brasil)	8 567
Número de Plantas (Brasil)	3
Centro de P&D	1
Campo de Provas	0

Fonte: Elaboração própria a partir de MARCOPOLO (2022).

A empresa possui 3 unidades produtivas no Brasil, a saber:

- i) Marcopolo Unidade Ana Rech – Caxias do Sul (RS);
- ii) Marcopolo Unidade São Mateus – BR 101 norte km 56 (ES);
- iii) Marcopolo Unidade San Marino – Caxias do Sul (RS).

Marcopolo – Unidade Ana Rech – Caxias do Sul (RS): a unidade Ana Rech foi fundada em 1981 e tem área de aproximadamente 384.300 m². É a principal unidade do conglomerado Marcopolo, com aproximadamente 5.300 funcionários, em que se concentram as atividades produtivas e o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, com aproximadamente 300 engenheiros (MARCOPOLO, 2016).

Nesta unidade são produzidos os seguintes modelos de carrocerias para ônibus urbanos:

- Marcopolo Torino: a carroceria Torino preconiza aplicações em que se deve ter alta eficiência na manutenção e operação (MARCOPOLO, 2022b).
- Marcopolo Viale BRT: a carroceria Viale BRT é um modelo com maior capacidade de passageiros que traz elementos adicionais de conforto e acessibilidade, comparado ao modelo Torino. MARCOPOLO (2022c). Marcopolo Viale BRS: a carroceria Viale BRS é um modelo com piso baixo, com destaque as janelas laterais que são inteiriças. MARCOPOLO (2022d).

Em síntese, pode-se ponderar que a Marcopolo, sendo uma empresa multinacional brasileira, possui relevante capacidade de investimento em novas tecnologias e em parques industriais, tendo criado competências que se expressam pela penetração dos seus produtos nos mais diferentes mercados em que atua.

Caio Induscar

Fundada em 1945 na cidade de São Paulo, a Caio (Companhia Americana Industrial de Ônibus) iniciou suas atividades em janeiro de 1946, com a produção do primeiro ônibus da marca: a jardineira (CAIO, 2022a).

Atualmente está localizada na cidade de Botucatu (SP), que é uma das unidades produtivas, e em Barra Bonita (SP), que conta com uma área total de 470.227 m² e com 87.612m² construídos.

A planta de Botucatu tem capacidade produtiva de 40 carrocerias por dia e a planta de Barra Bonita de 10 carrocerias por dia, o que gera aproximadamente 3.000 empregos diretos no polo industrial da região (CAIO, 2022a).

Quadro 18
Informações – Caio Induscar

Empresa	Caio Induscar
Origem Capital	Brasil
Principais Produtos	Carrocerias de Ônibus, Peças e Serviços
Estabelecimento no Brasil	1945
Localização (Matriz)	Rodovia Marechal Rondon, KM 252,2 Distrito Industrial - Botucatu - SP
Faturamento	Não disponível
Número de Funcionários (Brasil)	8 567
Número de Plantas (Brasil)	2
Centro de P&D	1
Campo de Provas	0

Fonte: Elaboração própria a partir de CAIO (2022).

A Caio Induscar passou a fazer parte do portfólio de investimentos da RuasInvest Participações S.A. em 2004, sendo concebida uma holding nomeada “Grupo CAIO INDUSCAR”, tendo o propósito de ofertar um portfólio dinâmico e integrado de serviços de transporte e infraestrutura, reduzindo os riscos e criando valor para os seus acionistas (RUASINVEST, 2004). Destaca-se a aquisição, por alguns acionistas do grupo Caio Induscar, dos ativos da Busscar, marca de carrocerias de ônibus reconhecida no mercado e que se junta ao legado e atuação da Caio (CAIO, 2022a).

A Caio Induscar possui competências como ator desta cadeia, em que se destacam:

- desenvolvimento de produtos e integração das arquiteturas de sistemas para ônibus: suspensões, chassis, motores, sistemas elétricos, sistemas eletrônicos;
- dinâmica veicular, ergonomia, estruturas veiculares, construção de protótipos, testes, simulações virtuais, ciências dos materiais, processos de fabricação, usinagem e montagem.

A Caio Induscar tem vários produtos que apresentam características específicas em função das diversas aplicações possíveis, tendo como exemplos:

- APACHE VIP V: esta carroceria para ônibus urbano pode ter de 9,5 m a 15 m de comprimento, com 2,55 m de largura interna e variação entre 3,37 m a 3,59 m para a altura externa e 2,05 m a 2,27 m para a altura interna. Pela concepção de produto, se volta a aplicações em que se exige flexibilidade de operação e manutenção (CAIO, 2022b).

- Millenium Versão BRT II: a carroceria conta com para-choque dianteiro e traseiro tripartidos, que facilita a reposição e manutenção, podendo ter até 15 m de comprimento, largura externa de 2,6 m, altura externa de 3,5 m e altura interna entre 2,26 m e 2,43 m (CAIO, 2022c).
- Millenium Versão BRT Biarticulado e Super-Articulado: estas carrocerias têm aplicação vocacionada para corredores de transporte em que há alta densidade de passageiros.
 - Biarticulado: possui largura externa de 2,6 m, altura externa de 3,5 m, altura interna de 2,26 m (piso normal) e 2,43 m (piso baixo). Os veículos podem ter um comprimento total de até 28 m (CAIO, 2022d);
 - Super-Articulado: possui largura externa de 2,6 m, altura externa de 3,5 m, altura interna 2,26 m (piso normal) e 2,43 m (piso baixo), os veículos podem ter um comprimento total de até 23 m (CAIO, 2022e).

Desta feita, pontua-se que o grupo Caio Induscar tem robusto histórico no ecossistema de transporte urbano, desenvolvendo produtos e soluções para diversos mercados, imprimindo inovação tecnológica e consolidação de competências na cadeia nacional.

2. Cadeia produtiva de ônibus diesel no Brasil (downstream)

Serviços e reparação

Na composição dos custos operacionais de uma frota de ônibus urbanos, fatores como tempo de disponibilidade, custos dos serviços, peças e reparação são cruciais.

Por esta razão, tradicionalmente, os operadores de ônibus urbanos possuem uma estrutura verticalizada no que diz respeito às atividades de manutenção e reparo⁷ de seus veículos e, de forma geral, a depender do contrato de compra de veículos com a montadora, apenas atividades essenciais, durante o período de garantia, são realizadas por pessoal especializado dos concessionários, que ficam alocados nas garagens / instalações dos operadores de ônibus.

Com vistas a explorar alguns exemplos operacionais de serviços de manutenção e reparação em frotas de ônibus urbanos, dois casos são apresentados, a saber:

- Viação Santa Brígida – São Paulo (SP)
- ViaUrbana – Fortaleza (CE)

Viação Santa Brígida

A Viação Santa Brígida é um operador de transporte de passageiros que atua no município de São Paulo, com garagens em 2 localidades: i) Vila Jaraguá e ii) Vila Mangalot. Sua operação conta com aproximadamente 4.200 funcionários e 800 veículos (BRÍGIDA, 2022a).

A estrutura da empresa é formada por 4 áreas principais:

- i) Operações;
- ii) Manutenção;
- iii) Administração;
- iv) Recursos humanos.

A manutenção atua de forma a garantir a confiabilidade da operação e, conseqüentemente, a disponibilidade de uso da frota, através de planos de manutenções preventivas e intervenções, com vistas a mitigar reparos ou outros eventos fortuitos/defeitos nos veículos.

⁷ Manutenção é entendida como uma ação planejada, prescrita no manual de serviço do veículo enquanto o Reparo são ações pontuais mediante defeitos ou mau funcionamento.

Há uma equipe de manutenção dedicada para o cumprimento dos planos de manutenção e dos casos de reparos necessários quando há a ocorrência de paradas não programadas (BRÍGIDA, 2022c). Desta feita, tem-se, portanto, a estratégia de manutenção e reparo, que inclui o fluxo de materiais e compras de peças, realizado pela estrutura da própria empresa.

Viação ViaUrbana

A Viação ViaUrbana Ltda foi fundada em 1996 e possui 729 colaboradores com uma frota de 247 veículos, sendo uma das maiores operadoras do sistema integrado de transporte de Fortaleza desde 2013. Sua sede administrativa/garagem em Fortaleza tem uma área total de 50.000 m² e aproximadamente 3.000 m² de área construída (VIAURBANA, 2022).

A estrutura conta com 9 valetas no pátio de manutenção, em que são realizadas as manutenções e reparos, a pista de lavagem e um processo de abastecimento e reciclagem de água (VIAURBANA, 2022).

Os serviços de manutenção e reparos seguem programas definidos pela empresa, a fim de ter-se flexibilidade e rapidez no retorno dos veículos para a operação. Os procedimentos de execução dos serviços e a compra de peças de reposição são atividades que compreendem a rotina do setor de manutenção e é pilar para o funcionamento adequado das linhas e rotas de cada veículo.

C. Considerações finais: cadeia diesel com ampla competência e capacidade produtiva associadas a esta rota tecnológica no Brasil

A cadeia de produção brasileira tem relevante histórico e grande protagonismo no contexto da produção de ônibus, conforme números e dados apresentados no primeiro capítulo e evidências relatadas e discutidas neste capítulo presente. Em 2019, o Brasil ocupou a 3ª posição na produção global de ônibus rodoviários e urbanos, com 27.671 unidades produzidas, atrás apenas da China (1ª posição, com 140.341 unidades) e da Índia (2ª posição, com 44.333 unidades). Em 2020, as exportações brasileiras na categoria de “veículos automóveis para o transporte de mercadorias e usos especiais” somaram 1,2 bilhões de dólares americanos, sendo que aproximadamente 0,83 bilhões foram destinados para a América Latina, o que revela o perfil do país como pujante exportador para a região. Mesmo com este grande fluxo regional, deve-se ter em conta ainda o continente africano como um destino histórico dos ônibus brasileiros. Este efeito de exportação para a América Latina e África ocorre pois os requisitos do produto local apresentam similaridades aos requisitos destes mercados. Assim, sendo a qualidade do viário equiparável, um ônibus que opera de forma adequada no Brasil também demonstra desempenho similar quando aplicado nas operações destas regiões.

Ainda na perspectiva das exportações, aponta-se que o Brasil exportou em média —entre 2001 e 2022— 28% de sua produção, enquanto os 72% restantes foram absorvidos pelo mercado doméstico. De fato, os números apresentados revelam e corroboram a grande maturidade da cadeia de ônibus brasileira, destacadamente dos ônibus urbanos.

Neste sentido, ao explorar esta cadeia com o olhar Upstream (à montante dos OEMs), este capítulo demonstrou e caracterizou a presença de vários atores que atuam no fornecimento das matérias-primas, peças brutas, autopeças, sistemas e que apresentam competências de engenharia e de manufatura extremamente consolidadas. Estes atores, inclusive, estão direcionados a prover componentes e sistemas com amplo atendimento aos requisitos i) funcionais, ii) de qualidade e aos iii) volumes de produção necessários. Destaca-se, ainda conforme subseções anteriores, que esta parte da cadeia contempla muitas empresas de capital estrangeiro que possuem longa atuação no país e que trazem consigo as melhores práticas e eixos de P&D executados em outros mercados. Por exemplo, viu-se a aplicação de novos materiais que permitem a redução de massa do veículo, mantendo o compromisso com a resposta de resistência mecânica; o desenvolvimento de novos processos que habilitam o incremento de propriedades mecânicas

nas peças; a redução de atrito através de soluções tribológicas avançadas e a otimização de desenho de peças, conjuntos e sistemas (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2015). Em síntese, o capítulo confirmou, com exemplos práticos, a premissa de que a cadeia Upstream oferece desenvolvimento tecnológico aos produtos fabricados no país. Não há qualquer dúvida de que a grande envergadura desta parte da cadeia também a habilita a ser exportadora de soluções, pois, como já dito, as condições de contorno em que os produtos são aplicados na operação são muitas vezes de grande criticidade –vide as condições irregulares dos viários/pavimentos em que circulam os ônibus. Também, pode-se citar: i) situações em que há condição desfavorável de carga devido à extrapolação do número máximo de passageiros a serem transportados, ii) multiplicidade topográfica (com aclives e declives com várias inclinações), iii) grande amplitude de temperatura na operação (com ônibus que devem circular adequadamente em locais com temperaturas baixas e/ou altas), iv) variações de densidade de combustível disponível, entre outros aspectos. Por isto se argumenta a partir dos dados apresentados, que para atender as mais diversas variáveis da operação, a cadeia Upstream possui alta qualificação técnica e capacidade de prover novas soluções e inovações, que se tornam com alguma frequência o padrão global para o desenvolvimento e produção de ônibus urbanos.

Da mesma forma e rigor dos dados, o capítulo empreendeu a caracterização da cadeia Downstream e foi possível enxergar fluxos entre fornecedores e clientes e processos bem definidos, em que as atividades de vendas de ônibus (domésticas e de exportação), distribuição de peças de reposição, fontes de financiamento via instituições financeiras cativas (em grande parte dos próprios OEMs) e serviços de seguro, possuem robustez nas soluções disponíveis e importante grau de customização na oferta de produtos e serviços —dada a especificidade deste mercado— em que pese a variação de requisitos e legislações em que tais ônibus são aplicados.

Ainda, o capítulo demonstrou o importante papel das concessionárias na atividade do pós-venda, que cumprem com o escopo dos serviços de manutenção, reparação e, também, da revenda dos ônibus.

Neste quesito, aponta-se que é típico, no caso brasileiro, a propriedade da rede de concessionárias ser dos operadores de transporte, que se coloca como uma fonte adicional de receita (venda de ônibus) ao negócio, em relação àquela majoritária que é a operação de uma frota de ônibus urbanos. Desta forma, o operador faz a compra do veículo, os serviços de manutenção e reparação e a revenda por um ator (concessionário) que pode ser de sua propriedade, ou pertencer ao mesmo grupo econômico, que faz a operação de transporte. No caso da revenda, também é típica a negociação dos veículos usados para cidades que não possuem restrições quanto aos anos de uso destes ônibus, sendo que o operador de transporte que faz a compra —neste novo local— também pode pertencer ao mesmo operador ou grupo econômico que fez a venda.

Este cenário caracterizado por este capítulo explicita que a cadeia Downstream vai muito além da mera venda e pós-venda dos ônibus, pois é uma porção da cadeia em que se apoia em parâmetros plenamente estabelecidos, com múltiplas fontes de receitas e modelos de negócios próprios. As atividades de manutenção e reparação normalmente seguem contratos acordados com os OEMs que, a fim de evitar o deslocamento dos veículos da garagem para a concessionária e afetar a operação, se baseiam em estratégias específicas. Destas, pode-se estabelecer a execução dos serviços nas próprias garagens, por profissionais dos concessionários, ou por profissionais do próprio operador —homologados pelo OEM— que mantém a estrutura de garantia do veículo devido a substituição compulsória de peças/componentes por iguais genuínos do respectivo OEM.

Pelos aspectos levantados, caracterizados e organizados neste capítulo, depreende-se que a cadeia brasileira de produção de ônibus diesel urbanos é longa, madura e consistente, com a presença de múltiplos atores à montante (Upstream) que possuem vocação histórica para o desenvolvimento local, via presença de centros de P&D próprios no país, e um amplo espectro de competências em manufatura. Por seu turno, uma grande capilaridade e modelos de negócios bem consolidados são as características que marcam a porção Downstream.

Esta construção e narrativa empreendida proporcionou amplo entendimento dos fundamentos que justificam o desempenho da cadeia brasileira no contexto local e global e, num cenário de transição tecnológica em marcha que objetiva a descarbonização e redução de poluentes voltados ao transporte público por ônibus. Vantagens e desvantagens podem ser ponderadas e analisadas neste prisma da transformação. Por exemplo, no âmbito das vantagens, a cadeia de ônibus brasileira confere credenciais que possibilitam a transição via suas competências e legado. Quanto às desvantagens, pode-se ter certo grau de aprisionamento tecnológico quando não se tem a previsibilidade sobre o processo de transição e, portanto, os ciclos de investimentos não são capazes de capturar as demandas necessárias para a mudança.

Desta feita, faz-se necessário o diálogo deste conjunto de evidências e dados observados frente ao contexto atual normativo/regulatório em que a cadeia de ônibus está inserida: haverá a introdução do Programa PROCONVE P8 em 2023, que se equipara à norma de emissões EURO VI europeia e preconiza a redução significativa de emissões de MP (Material Particulado) e NOx (óxidos de Nitrogênio), com redução de 50% e 80%, respectivamente, em relação aos níveis do PROCONVE P7 (EURO V), este último, válido desde 2012. De fato, a questão de emissões de poluentes é um item crítico nos grandes centros urbanos e tecnologias mitigadoras devem ser aplicadas de forma efetiva. Então, as estratégias postas pelos atores da cadeia, de forma majoritária pelos OEMs, sempre se pautam por duas espirais, a saber:

Redução da emissão de poluentes

De forma geral é entendido que os limites da fase PROCONVE P8 trazem um grande avanço para a redução da emissão de poluentes. Entretanto, a depender de legislações locais de grandes cidades, deve-se ter a migração do motor diesel para a arquitetura híbrida (provavelmente híbrida-série) e em alguns casos para os puros elétricos. De fato, a eletrificação não é a estratégia majoritária dos OEMs pois a demanda desta tecnologia tem sido materializada por políticas subnacionais/locais que, mesmo com alguma relevância —como o caso da Lei 16.802 da cidade de São Paulo— não são capazes de prover isoladamente a previsibilidade e o ganho de escala para a transição plena da tecnologia. Logo, num cenário de ausência de políticas de redução de emissão de poluentes, mais restritivas em seus limites, e com abrangência nacional, é provável que se conservará a estratégia do P8 até a próxima janela de revisão.

Redução de emissão de GEE (CO₂eq)

Para a redução do CO₂eq, diversas estratégias são apontadas pelos OEMs. De forma histórica tem-se o uso do Biodiesel, que tem cumprido papel relevante no processo de descarbonização, mas que apresenta alguns desafios técnicos para a amplificação percentual do seu conteúdo no Diesel, vide as dificuldades na eficiência de separação de água e a presença de contaminantes que reduzem a eficiência do sistema de pós-tratamento de emissões. Neste cenário, vários OEMs têm mantido o Diesel Verde (HVO - Hydrotreated Vegetable Oil) como opção para mistura no Diesel em conjunto com o Biodiesel e no limite, o uso direto do HVO nos motores. Neste caso, não há mudanças significativas no motor, mas deve-se avaliar as respostas de desempenho e outros parâmetros da curva característica de operação. Mesmo com a aposta de vários OEMs no HVO, ainda se tem dúvidas sobre os custos pois, faz-se necessário o ganho de escala para a acomodação de preços.

Outro eixo estratégico de alguns OEMs no Brasil se volta a aplicação do Gás Natural, em que se projeta o aumento da disponibilidade nos próximos anos. Contudo, avalia-se que ainda há restrições na distribuição em função da ausência de infraestrutura longe dos grandes centros urbanos. Neste sentido, também se apresenta o Biogás, especificamente o Biometano, que pode ter disponibilidade em determinadas regiões, em face as atividades do agronegócio ou aterros sanitários, mas que possui infraestrutura de distribuição ainda muito incipiente. Aposta-se que este combustível poderá ter custo atrativo e ser uma solução robusta para frotas cativas no médio prazo.

Uma alternativa estratégica que tem sido amplamente avaliada pela cadeia de produção, e foco analítico do próximo capítulo deste projeto, se volta aos puros Elétricos, já que os híbridos emitem CO₂eq e em casos prescritos —como a Lei 16.802 da cidade de São Paulo— deve-se ter zero emissão. Assim, como aludido para as emissões de poluentes, a demanda pelos puros elétricos é dispersa e restrita a grandes centros, que através de suas políticas apontam para a implementação desta tecnologia.

Desta forma, destaca-se que os investimentos realizados para o cumprimento da fase P8 priorizam no curto prazo as estratégias que direcionam ao uso do Biodiesel e do Gás Natural e num cenário de acirramento de limites de CO₂eq, o HVO e o Biometano. O ônibus Elétrico, por representar uma ruptura da cadeia de produção, não é colocado como estratégia tecnológica principal, sendo vista como a alternativa de maior custo para descarbonização dentre as outras possíveis. Em que pese a implementação dos elétricos por políticas públicas, haverá ainda na cadeia de ônibus a presença do motor Diesel por vários anos. Um fator que pode potencialmente promover uma fissura nesta visão poderá se dar pelos mercados atendidos pelo Brasil, em particular a América Latina, que tem apresentado a implementação paulatina de ônibus elétricos nas frotas de transporte público das cidades, tendo como casos destacáveis a cidade de Santiago (Chile) e de Bogotá (Colômbia). Este movimento regional pode apresentar uma ameaça à exportação dos produtos brasileiros, que não apresentam esta tecnologia e, neste aspecto, um mercado regional somado a demanda doméstica pode contribuir para alavancar os volumes que são requeridos para pleno investimento.

III. Cadeia produtiva dos ônibus elétricos no Brasil: configuração, atores, redes e competências existentes

A. Mudanças e continuidades entre as cadeias produtivas de ônibus à diesel e de ônibus elétricos

Em relação aos ônibus à diesel convencionais, os ônibus elétricos possuem uma série de componentes e sistemas cujo funcionamento, arquitetura e/ou materiais utilizados são distintos em maior ou menor grau, o que naturalmente se reflete em suas respectivas cadeias produtivas. As diferenças entre as duas tecnologias de propulsão, por exemplo, se refletem no processo produtivo e na relação com os fornecedores, e podem significar inclusive a destruição e ou criação de segmentos inteiros da cadeia de fornecimento de componentes e sistemas.

Não obstante, os ônibus à diesel e elétricos compartilham uma parte significativa de componentes para os quais, a princípio, a eletrificação do powertrain tem pouca ou nenhuma influência e, portanto, é possível identificar também continuidades entre essas duas cadeias produtivas. A presente seção discute essas continuidades e mudanças em relação às duas cadeias, tendo como base de comparação a cadeia produtiva do ônibus a diesel apresentada no capítulo II.

Para facilitar a análise das diferenças e semelhanças, a cadeia produtiva foi dividida em segmentos, quais sejam: fornecimento de insumos (matérias primas em estado bruto ou processadas); powertrain e sistemas relacionados; outros sistemas (freios, suspensão, ar-condicionado etc.); montagem dos chassis; encarroçadoras; bem como os elos downstream (vendas, serviços de pós-venda etc.).

1. Fornecimento de insumos

Em relação aos ônibus à diesel, a produção dos ônibus elétricos tem alguns impactos significativos sobre a demanda por insumos básicos, ou seja, os materiais básicos utilizados na fabricação dos veículos e seus componentes. Isso acontece principalmente nas baterias, que serão abordadas no próximo capítulo, mas também em outros componentes desses veículos.

A produção de ônibus elétricos ainda demanda essencialmente os mesmos materiais tradicionalmente utilizados para a fabricação dos ônibus convencionais, como ferros fundidos, aço e alumínio, utilizados principalmente para a construção dos chassis e seus componentes e da carroceria dos veículos. Contudo, a eletrificação do powertrain tem como consequência, por um lado, a demanda maior por outros materiais ligados aos sistemas de alta voltagem, sistemas eletrônicos e suas conexões e, por outro, a redução da demanda por metais utilizados exclusivamente nos sistemas relacionados ao motor à combustão, como aqueles utilizados nos catalisadores.

É fato, por exemplo, que os motores elétricos e o sistema de distribuição de eletricidade dos veículos elétricos utilizam quantidades muito superiores (3 a 4 vezes maior) de cobre em relação aos motores convencionais (JONES *et al.*, 2020). O material também é demandado para a construção da infraestrutura de recarga. Outros metais também são utilizados nos motores, como neodímio e disprósio (IDTECHEX, 2022). Os componentes da eletrônica de potência e estações de recarga veiculares, por sua vez, demandam a utilização de outros materiais como o silício, o carboneto de silício, nitreto de gálio, prata, índio, tântalo, lantânio, entre outros (Andersson *et al.*, 2017).

Uma vez que muitos desses materiais tem reservas bastante limitadas, é provável que os fornecedores utilizem crescentemente materiais reciclados, e que os próprios veículos sejam projetados levando-se em consideração a reciclagem dos materiais utilizados. Esse processo deverá aumentar a importância das empresas de reciclagem desses materiais na cadeia produtiva.

Por fim, dada a necessidade de redução do peso dos ônibus elétricos para elevar sua autonomia, é possível prever uma redução gradual na demanda por aço como principal material utilizado na estrutura do veículo, podendo ser substituído por alumínio ou mesmo outros materiais compostos. Jones *et al.* (2020), por exemplo, estima que haja um aumento anual médio de 1% a 3% na utilização de alumínio nos ônibus elétricos nos próximos anos.

2. Powertrain

Enquanto a relação entre os componentes de propulsão nos ônibus à diesel é predominantemente cinética e mecânica, a relação entre esses componentes nos ônibus elétricos é de outra natureza. Ela é dependente do movimento de elétrons armazenados nas baterias, gerenciado por sistemas de hardware e software avançados. Isso significa que a natureza das interfaces dos componentes do sistema de propulsão e sistemas auxiliares é muito diferente.

Em primeiro lugar, estimativas apontam que o número de partes móveis dos motores à combustão pode chegar a 2000, enquanto nos motores elétricos esse número dificilmente ultrapassa 20 partes, considerando também o sistema de transmissão. Motores elétricos dispensam ou reduzem significativamente o papel de sistemas inteiros como transmissões e embreagem, armazenamento e bombas de combustível, motores de partida, turbocompressores, e sistemas de escape dos gases provenientes da combustão, além dos sistemas convencionais de refrigeração do motor.

Além disso, os motores elétricos podem reduzir a importância dos freios convencionais através do sistema de frenagem regenerativa, que utiliza o próprio motor elétrico para reduzir a velocidade do veículo e ao mesmo tempo utiliza a energia da frenagem para carregar as baterias.

Por outro lado, os componentes do sistema de eletrônica de potência, como retificadores, conversores de tensão, filtros de entrada e inversores ganham importância significativa nos ônibus

elétricos. Esse sistema é responsável pelo gerenciamento e otimização dos processos de conversão e distribuição de energia elétrica no veículo como, por exemplo, os fluxos de energia da bateria para o motor e vice-versa (durante a utilização dos freios regenerativos), da estação de recarga para a bateria, bem como da bateria para os outros sistemas auxiliares como ar-condicionado, luzes, portas, direção elétrica etc. Nos ônibus elétricos, os componentes da eletrônica de potência são essenciais para o funcionamento do veículo, controlando o torque e a potência do motor, gerenciando os sistemas auxiliares e monitorando os fluxos de energia para as baterias, além de reduzir as perdas e interferências que possam surgir nesses processos.

Por conta do maior protagonismo da eletrônica de potência e a eletrificação de outros sistemas, estima-se que um veículo elétrico necessite de aproximadamente 2 mil microprocessadores, o dobro do necessário para os veículos à combustão convencionais (SCIENTIFIC AMERICAN, 2022). Esses componentes são extremamente delicados e seu processo de fabricação, transporte e montagem exigem um maior nível de precisão e cuidado que aquele utilizado nas partes mecânicas dos motores à combustão.

Atuando junto aos microprocessadores, os softwares de controle têm um papel central no funcionamento dos veículos elétricos e da infraestrutura de recarga. Eles atuam junto à eletrônica de potência para gerenciar a operação da bateria em tempo real com o objetivo de garantir sua segurança e aumentar sua vida útil e autonomia, promovendo a otimização de funcionamento dos motores elétricos e das baterias diante da demanda por potência e torque e das condições de temperatura do sistema. Adicionalmente, fazem a gestão dos sistemas auxiliares como freios regenerativos, direção elétrica, ar-condicionado, controle de estabilidade, recarga da bateria etc., além de conectar os veículos a centrais de gerenciamento à distância para a realização de diagnósticos acerca do funcionamento do veículo e das estações de recarga.

Perante a essas mudanças significativas no powertrain, abre-se caminho para a possibilidade de modularização e outsourcing de sistemas centrais, como as baterias, os motores elétricos e as centrais eletrônicas de gerenciamento (PROFF *et al.*, 2015). Por ser muito mais simples que os motores à combustão, o powertrain elétrico pode ser facilmente montado em uma estrutura modularizada que satisfaça um número maior de aplicações, o que pode gerar um aumento na comoditização dos componentes essenciais, favorecendo cadeias de produção globais em detrimento das cadeias produtivas locais (AUTOMOTIVE LOGISTICS).

Ainda nesse sentido, algumas empresas vêm oferecendo módulos inteiros, como os e-axles, sigla que significa “eixos elétricos” ou eixos eletrificados, que podem ser montados e utilizados em diferentes veículos pesados, como ônibus e caminhões, e incorporam o inversor, motor elétrico, sistema de transmissão, suspensão e freios, e se conectam diretamente aos chassis e às rodas (FLEEP EQUIPMENT, 2022). É o caso dos produtos oferecidos pela Meritor, ZF, Schaeffler, Dana, Allison Transmissions, entre outras.

A justificativa para o desenvolvimento desses sistemas modulares se baseia na redução de peso e espaço, bem como uma melhor disposição entre os componentes, que supostamente poderia otimizar o funcionamento do powertrain e gerar ganhos de eficiência e autonomia (ZF, 2022).

É importante destacar que grande parte desses produtos são oferecidos por fornecedores tradicionais do setor automotivo que vêm se adaptando à eletrificação veicular, oferecendo produtos e serviços adaptados aos veículos elétricos, inclusive adotando a ideia de modularização de sistemas.

3. Chassis e carroceria

Nos ônibus convencionais, os chassis são os elementos que conferem rigidez estrutural e no qual os componentes mecânicos do veículo —como o motor à combustão, sistema de transmissão, freios e sistemas auxiliares, são montados. Os chassis são geralmente feitos de aço e, em alguns casos de alumínio, em que a maior parte dos chassis de ônibus atuais são estruturas separadas da carroceria onde

se conectam os componentes mecânicos, embora também seja possível encontrar outras arquiteturas em que todos esses componentes são parte de uma mesma estrutura, como os chassis monobloco.

Como já discutido, os ônibus elétricos possuem uma configuração de powertrain significativamente diferente dos ônibus à combustão, marcada, por um lado, pela simplificação e redução significativa do peso do motor e do sistema de transmissão e, por outro lado, pelo peso adicionado pelas baterias, o que modifica a distribuição de peso e o espaço ocupado por esses sistemas.

Com essas mudanças estruturais, muitos fabricantes vêm testando materiais e arquiteturas estruturais alternativas para os ônibus elétricos. A utilização dos e-axles, por exemplo, exigirá modificações nos chassis tradicionais para incorporar os módulos. Além disso, alguns desses módulos são mais adaptados a outras arquiteturas, como as do tipo monobloco.

A utilização de arquiteturas do tipo monobloco visa a otimização da distribuição de peso e o espaço destinado às baterias e ao powertrain. Cita-se também que a utilização de outros materiais compostos e não metálicos na estrutura do veículo pode contribuir para a redução de peso dos veículos e permitir espaço para baterias maiores, podendo inclusive se tornar um fator estratégico para aumentar a autonomia e a performance dos veículos, como já utilizado em alguns modelos fabricados atualmente fora do país (CHARGED, 2022). No Brasil, a empresa Higer Bus firmou parceria com a SPtrans para fornecer o modelo Azure A12BR com chassi monobloco para a cidade de São Paulo. No entanto, apesar de ser desenvolvido para o mercado brasileiro, o modelo ainda é importado da China (PLANETA CAMINHÃO, 2022).

Não é possível afirmar com certeza qual será o design dominante no caso dos chassis de ônibus elétricos nas próximas décadas, mas caso as arquiteturas de chassis alternativas (como as do tipo monobloco, por exemplo) se revelem mais eficientes e adaptadas para a utilização com o powertrain elétrico e as baterias, as encarroçadoras podem ter que alterar significativamente os seus produtos e serviços, já que seu modelo de negócios atual depende da oferta de chassis separados da carroceria.

Entretanto, até o momento os ônibus elétricos têm mantido a configuração tradicional, ou seja, carroceria montada sobre chassis. Caso essa arquitetura estrutural seja mantida, não seriam necessárias mudanças significativas no processo de encarroçamento, sendo necessárias apenas adaptações incrementais no design para acomodar os chassis elétricos fornecidos pelas OEMs, como por exemplo para os casos de veículos cujas baterias tenham que ser montadas no teto, bem como configurações de chassis de piso baixo.

Adicionalmente, devido à maior simplicidade do conjunto mecânico dos chassis e a modularização do powertrain, é possível que empresas encarroçadoras desenvolvam seus próprios chassis elétricos, como é o caso da encarroçadora brasileira Marcopolo, como será detalhado na próxima seção. Contudo, atividades como pintura, acabamento interno, assentos e outros acessórios se mantêm praticamente inalteradas, embora o foco por redução no peso dos veículos também possa se manifestar em alterações destes componentes.

4. Outros sistemas relevantes

Em relação aos outros sistemas auxiliares que compõem os ônibus elétricos, não há, de fato, mudanças significativas, mas isto depende do grau de modularização a ser adotado pela indústria. Caso os e-axles sejam adotados como padrão, por exemplo, as fabricantes de sistemas como o conjunto de suspensão e freios terão que se adaptar devido a integração destes sistemas. Além disso, o sistema de freios passa a contar com o sistema de frenagem regenerativa do próprio motor elétrico, que ao oferecer resistência ao movimento do veículo, cumpre a função de recarregar as baterias e reduzir a sua velocidade. Não obstante, o foco no aumento da autonomia dos ônibus elétricos pode favorecer, como já citado, o desenvolvimento de componentes mais leves, com a utilização de materiais alternativos e sistemas com menor consumo de energia.

Não obstante, um sistema auxiliar cuja importância é muito maior nos ônibus elétricos, em relação aos ônibus à Diesel, são os sistemas de ar-condicionado, ventilação e aquecimento (Heating, Ventilation and Airconditioning - HVAC). Devido ao seu alto consumo de energia, e sendo muitas vezes entendido como item compulsório nos veículos em face as diversas configurações de licitações nas cidades, o sistema de ar-condicionado pode comprometer significativamente a autonomia dos veículos. Sem dúvida, este quesito exige uma análise criteriosa das rotas e estratégia de recarga em que tais veículos serão submetidos. Ou seja, no caso do Brasil, as condições climáticas favorecem a utilização de sistemas de ar-condicionado, que podem consumir até 30% da energia das baterias (He *et al.*, 2018). Saltos de eficiência nesse sistema não eram tão demandados no caso dos ônibus à Diesel, mas se tornam fundamentais no contexto dos ônibus elétricos.

Portanto, os fabricantes desses sistemas terão que investir em produtos mais eficientes, inclusive testando tecnologias alternativas que promovam o conforto térmico. Nesta perspectiva, os sistemas de ar-condicionado para ônibus elétricos podem ser de Compressão de Vapor (Variable compression cycles - VCC) ou bombas de calor (heat pumps - HP), sendo que ambas utilizam um compressor elétrico, mas que reservam diferenças técnicas no seu funcionamento. Além disso, as unidades do tipo HP também podem ser usadas para aquecimento do veículo.

Uma das principais recentes mudanças que atuam diretamente na redução do impacto ambiental dos sistemas de ar-condicionado veiculares diz respeito à utilização de gases refrigerantes que possuam menor consumo de energia, ofereçam maior segurança de operação e mitiguem os impactos de sua liberação na camada de ozônio. Nas aplicações gerais, são utilizados na indústria os gases R134 ou R407c, tendo se tornado comum a utilização do R410a, que representa a versão tecnológica de menor impacto, conforme citado. Existem ainda produtos que utilizam gás carbônico nas bombas de calor e que conseguem ser mais eficientes que os sistemas convencionais. Entretanto, estes possuem custo de aquisição e manutenção significativamente superior (Göhlich *et al.*, 2015).

Outra mudança é a utilização de sistemas de climatização adaptativos, ou seja, que se ajustam a diferentes condições de operação do veículo e de acordo com o número de passageiros, reduzindo o consumo de energia. Esses sistemas podem reduzir o consumo total de energia em até 6% (Mao *et al.*, 2022). As encarregadoras e montadoras também podem contribuir para aumentar a eficiência do sistema de climatização ao implementar tecnologias que visem o aumento do grau de isolamento térmico do interior dos veículos, reduzindo assim a troca de calor com o ambiente externo.

5. Cadeia produtiva *downstream* (vendas de ônibus e componentes, cadeia de serviços e reparação, revenda)

Apesar dos veículos elétricos apresentarem um sistema de propulsão menos complexo, do ponto de vista do número de partes móveis e sistemas auxiliares, em relação aos ônibus à Diesel, alguns componentes (como as baterias) trazem consigo alterações tecnológicas que exigirão mão de obra altamente especializada para sua manutenção. Os sistemas elétricos, muitos dos quais substituem sistemas mecânicos ou hidráulicos —incluindo o próprio motor— exigirão dos profissionais de manutenção os conhecimentos e capacitações em eletroeletrônica, análise de sinais, testes elétricos, bem como protocolos e interfaces de comunicação via softwares específicos, a fim de permitir a realização das atividades de manutenção nos veículos, inclusive por questões de segurança, já que esses sistemas operam em alta voltagem. De fato, em face a incipiente introdução dos ônibus elétricos no Brasil, ainda não está claro como essa transição será conduzida.

Não obstante o elevado ritmo de evolução tecnológica, é muito provável que a vida útil das baterias seja menor que a dos veículos, criando oportunidades para o desenvolvimento de empregos de manutenção relacionados à troca e reaproveitamento desses componentes em outros produtos —vide o caso de baterias de segunda vida— bem como incentivando os serviços de reciclagem dos componentes dessas baterias ao final de sua vida útil.








B. Cadeia produtiva/valor dos ônibus a elétricos no Brasil

A presente seção descreve os principais atores da cadeia produtiva e de valor de ônibus elétricos no Brasil, conforme apurado em pesquisa secundária e entrevistas com atores relevantes no país.

A descrição das principais semelhanças e diferenças realizada na seção anterior mostra que muitos elos são semelhantes entre as cadeias de ônibus à diesel e elétricos, enquanto outros são adicionados ou retirados da cadeia de elétricos devido às características inerentes à tecnologia desses veículos. Dessa forma, muitas empresas apresentadas no Capítulo 2 são mantidas na cadeia produtiva dos ônibus elétricos, pois possuem uma participação estratégica em ambas as cadeias. Para essas empresas, não se faz necessário uma nova apresentação detalhada, sendo que a análise se concentra em definir como essas empresas estão se inserindo na cadeia do ônibus elétrico em termos de produtos, recursos produtivos, competências e estratégias de P&D, por exemplo. Já as empresas que ganham maior protagonismo na cadeia do ônibus elétrico e não possuem grande relevância para a cadeia do ônibus à diesel serão apresentadas em detalhes.

A análise da cadeia produtiva de ônibus elétrico é dividida entre as atividades upstream (à montante) e downstream (ou à jusante) das OEMs, de forma análoga à abordagem no capítulo II. Entre as atividades upstream, são definidas as empresas fornecedoras de autopeças e sistemas, as montadoras, fabricantes de chassi e carrocerias, atividades essenciais no caso dos ônibus elétricos. Entre as atividades downstream, são descritas as principais mudanças no âmbito das atividades de vendas e revendas, dos serviços de reparação dos veículos e dos serviços de retrofit, bem como as atividades de fornecimento de energia e infraestrutura de recarga.

Cuadro 19
Cadeia produtiva em construção dos ônibus urbanos elétricos no Brasil (não exaustiva)

Cadeia Produtiva - Upstream													
Macro Sistema	Sistemas	Materiais			Tier 3	Processos Principais	Tier 2	Tier 1		OEM e encarregadoras	Cadeia Produtiva - Downstream		
		Componentes	Matéria Prima	Potenciais Fornecedores	Pecas Brutas		Autopeça	Tier 1 Sistemas	Tier 1 Sistemas Integrados		Financiamento	Energia/ Infraestrutura de recarga	Serviços de reparação
Powertrain	Motor elétrico	Rotor e Estator	Cobre Neodímio Disprósio Ferro Aço Alumínio	Parapanema Eluma Caralba Gerdau AcelorMittal Companhia Brasileira de Alumínio (CBA)	Bobinagem e inserção	WEG Meritor Dana Bosch						De acordo com as entrevistas, os serviços de reparação deverão ser realizados pelas próprias montadoras	
	Transmissão	Engrenagens Bomba de Fluido Tomadas de forças Acoplamento Cx Câmbio Sensores	Ferro Aço Alumínio Polímeros Elastômeros	Novelis CSN Usiminas Norsk Hydro Braskem Solvay DOW Química DuPont		Estampagem Usinagem Injeção de plásticos Montagem	Eaton ZF Dana						
	Sistemas Elétricos e Eletrônicos	Chicotes, Cabos e Conectores de alta tensão Eletrônica de potência Inversores Unidades de controle veicular Sensores Programação e Software	Cobre Alumínio Polímeros Elastômeros Terras raras Silício Outros minerais e produtos químicos	"Tier 3" - Semicondutores e outros componentes básicos		"Tier 2" - Módulos eletrônicos	"Tier 1" - Sistemas elétricos e eletrônicos completos						
					Processos Principais	Potenciais Fornecedores	Processos Principais	Potenciais Fornecedores	Processos Principais	Potenciais Fornecedores	Encarregadoras		
					Semicondutores e circuitos integrados: Deposição Remoção Padronização Modificação das propriedades elétricas Outros componentes: Fundição Injeção de Pásticos Estampagem	Semicondutores e circuitos: Sem fornecedores nacionais, componentes importados. Cabos e conectores: Lear PK Cables	Montagem	WEG Globus Eletronics	Montagem Programação	Dana WEG Eaton Bosch ZF Lear PK Cables Meritor			
Outros sistemas	HVAC (Ar condicionado)	Compressor Evaporador Condensador Módulos eletrônicos Tubos	Alumínio, aço, polímeros, gases refrigerantes		Processos Principais	Potenciais Fornecedores							
	Componentes de chassi	Longarinas e componentes estruturais Suspensão, freios, eixo direcional etc.	Ferro Aço Alumínio Polímeros		Estampagem Usinagem Injeção de plásticos Montagem	Valeo Thermal Bus Rehem Bosch ZF Suspensys Meritor Metalsa							

Fonte: Elaboração própria baseada em múltiplas fontes secundárias referenciadas e listadas nas seções seguintes a este capítulo.

1. Cadeia produtiva de ônibus elétricos no Brasil (upstream)

A cadeia produtiva upstream engloba os atores que desempenham as atividades de fornecimento das matérias-primas, passando pela manufatura das peças e componentes até os sistemas e subsistemas completos (pré-montados) para as OEMs.

Fornecedores de insumos básicos

Entre os fornecedores de insumos básicos para a cadeia produtiva de ônibus elétricos, excluindo as baterias, a estrutura se mantém similar à dos ônibus convencionais, dado que existe, até o momento, uma correspondência entre os principais materiais utilizados na estrutura de ambos os veículos, como o ferro fundido, o aço e o alumínio. Continuam sendo relevantes, portanto, os atores citados no Capítulo anterior, quais sejam: Gerdau, Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), Novelis, e Norsk Hydro.

Contudo, como já mencionado, o cobre tem um protagonismo maior nos veículos elétricos, especialmente no powertrain, nos sistemas elétricos e nos chicotes. No Brasil, se destaca, por exemplo, a Paranapanema, que atua na fundição e no refino de cobre primário e na produção de semimanufaturados de cobre e suas ligas, sendo especializada em transformar o cobre mineral em metal, fornecendo o cobre eletrolítico, com 99,99% de pureza, sendo o mais indicado para os sistemas eletrônicos e motores dos ônibus elétricos. O material é fabricado na unidade de Dias d'Ávila – BA. Segundo dados mais recentes (2018), a empresa possui cerca de 2.000 colaboradores e receita líquida de R\$ 4,8 bilhões (PARANAPANEMA, 2022).

Em relação aos materiais utilizados na fabricação dos semicondutores utilizados nos sistemas eletrônicos, não existe perspectiva de produção desses componentes no país e, portanto, não existem impactos significativos em relação ao fornecimento desses insumos básicos.

Fornecedores de autopeças e sistemas

Muitas das fornecedoras tradicionais do setor automotivo e da cadeia de ônibus à diesel no Brasil descritas no Capítulo 2 já oferecem componentes e sistemas de powertrain e outros componentes e sistemas para os ônibus elétricos. Contudo, é possível identificar também empresas que ganham maior protagonismo nessa cadeia produtiva, mas que, até o momento, não tinham qualquer papel na cadeia dos ônibus à diesel. A seguir, são apresentadas as principais empresas e suas atividades em relação a autopeças e sistemas para o ônibus elétrico, que mesmo não estando plenamente consolidadas no Brasil, a partir de suas matrizes, podem fazer o cascadeamento e implementação no país, quando demandado.

Eaton

A Eaton vem oferecendo algumas soluções no mercado global, como transmissões de duas velocidades para ônibus e caminhões elétricos que, no Brasil, estão sendo fornecidas para os caminhões FNM elétricos (AGÊNCIA TRANSPORTA BRASIL, 2022). Globalmente, a empresa planeja investir cerca de US\$ 500 milhões no desenvolvimento de produtos para a eletromobilidade, com foco especialmente em sistemas de eletrônica de potência inteligente, motores, transmissões e proteção de circuitos. Atualmente, a empresa fornece, no mercado global, conversores, transmissões para veículos elétricos e power distribution units (PDUs) (EATON, 2022). Portanto, suas principais competências, atualmente, se dão nos seguintes aspectos:

- desenvolvimento de sistemas de transmissão para veículos elétricos;
- eletrônica de potência, conversores e PDUs.

Bosch

A Bosch oferece cursos de treinamento para técnicos em veículos híbridos e elétricos no Centro de Treinamento da companhia em Campinas – SP (BOSCH, 2022). Além disso, a empresa já participou do desenvolvimento do eixo direcional do chassi de ônibus elétrico articulado D11B, da BYD

(AUTOMOTIVE BUSINESS, 2020), e dos ônibus importados pela Higer Bus (Azzure A12BR), além da unidade de controle veicular dos caminhões elétricos e-Delivery da VWCO do Brasil (ESTADÃO, 2021). No mercado global, a empresa desenvolve diversos sistemas para veículos elétricos como motores (INSIDEEVS, 2021), sistemas de conectividade, segurança, e automação dos veículos. Suas principais competências atualmente são:

- sistemas de eixos direcionais eletrificados;
- motores elétricos;
- unidades de controle veicular;
- segurança veicular;
- sistemas de conectividade;
- automação veicular;
- treinamento e qualificação de técnicos em sistemas de alta tensão;
- caixas de direção.

ZF

A ZF, apresentada no Capítulo 2, vem direcionando uma parte significativa dos seus recursos de P&D na eletrificação do powertrain. Suas principais competências, no âmbito da cadeia produtiva dos ônibus elétricos, são:

- sistemas de transmissão para veículos elétricos;
- motores elétricos (CeTrax) e eletrônica de potência;
- suspensão, freios e outros componentes de chassi;
- segurança veicular;
- linha de eixos elétricos de arquitetura modular (e-axle);
- treinamento e qualificação de técnicos em sistemas de alta tensão;
- serviço de retrofit para ônibus à diesel.

A empresa fornece os eixos dianteiro e traseiro, suspensão pneumática e sistemas de freios dos ônibus elétricos Azure A12BR, importados da China pela Higer Bus (AUTODATA, 2022).

Lear

A Lear do Brasil tem, entre suas principais competências descritas no Capítulo 2, o desenvolvimento de sistemas elétricos, unidades de controle eletrônicas e sistemas eletrônicos complexos, incluindo hardware e software. Todos esses sistemas e componentes têm grande protagonismo nos veículos elétricos.

Sua estratégia de eletrificação internacional inclui o foco na arquitetura dos sistemas de distribuição elétrica que conectam os diferentes componentes eletrificados dos veículos elétricos, oferecendo chicotes elétricos para alta tensão, conectores, sistemas eletrônicos modulares, unidades de controle eletrônico do veículo, estação de recarga inteligentes, e sistemas de conectividade e telecomunicação baseados em tecnologia 4G e 5G (AUTOMOTIVE WORLD, 2021).

Em 2021, a empresa ganhou um dos prêmios da PACE Awards, premiação promovida pela revista internacional *Automotive News*, por criar um sistema que permite aumentar a eficiência térmica e o tempo de recarga das baterias ao integrar duas unidades de bateria desconectadas em um único sistema, suportando dois sistemas paralelos de 400 volts, permitindo uma recarga rápida e segura. A inovação apresenta cabos planos e flexíveis que dissipam rapidamente o calor a fim de melhorar o gerenciamento térmico e reduzir o peso dos componentes. A unidade atingiu uma redução de peso de 20%, 32% em volume e um ganho de 135% na capacidade de recarga (AUTOMOTIVE NEWS, 2021).

Portanto, suas principais competências incluem:

- sistemas eletrônicos complexos, como eletrônica de potência, unidades de controle eletrônico, incluindo arquiteturas inovadoras nos sistemas de distribuição;

- software de gerenciamento para sistemas eletrônicos;
- chicotes elétricos e conectores de alta tensão;
- sistemas de conectividade;
- estações de recarga.

PK Cables

Assim como a Lear, a PK Cables possui competências relevantes no contexto da eletrificação dos sistemas veiculares, como os sistemas de distribuição elétrica, componentes elétricos, sistemas eletrônicos veiculares, cabos, chicotes e conectores elétricos. Na parte de powertrain, a empresa tem competências em sistemas de gerenciamento de baterias, conversores DC/DC, e unidades de controle eletrônico.

- sistemas eletrônicos complexos, como eletrônica de potência, unidades de controle eletrônico, conversores, sistemas de distribuição elétrica;
- chicotes elétricos e conectores de alta tensão.

Dana

A Dana é uma empresa tradicional do setor automotivo, fundada em 1904 nos Estados Unidos, com receita de US\$ 8,9 bilhões em 2021, e presente no Brasil desde 1947. No Brasil, a empresa começou com o nome de oficina Albarus, no Rio Grande do Sul, para produzir peças de reposição para veículos importados. A Dana assumiu o controle da empresa na década de 1970. Atualmente, a empresa possui operações em Gravataí (RS), Campinas, Diadema, Jundiaí, Limeira e Sorocaba (SP), que juntas empregam cerca de 3 mil pessoas, segundo os dados mais recentes disponíveis (DANA, 2018). A sede brasileira em Gravataí conta também com um Centro de Tecnologia. Segundo reportagem recente, a Dana deve ser a empresa responsável por fornecer os motores elétricos para o ônibus Azure A12BR da Higer Bus (PLANETA CAMINHÃO, 2022), embora ainda não se saiba se esse componente será fabricado pela filial brasileira, já que o ônibus vem importado em regime PKD e é fabricado na China.

A empresa atua oferecendo diversos componentes para o powertrain elétrico de ônibus, incluindo transmissão, eletrônica de potência, motores de baixa e alta tensão, inversores, controles e gerenciamento térmico, além de dois eixos elétricos, o eS13.0xr para ônibus de porte médio (7 a 9 metros) e o eS900r para microônibus.

Quadro 20
Informações – Dana

Empresa	Dana do Brasil
Origem Capital	Estados Unidos
Principais Produtos	Eixos elétricos modulares, transmissão, eletrônica de potência, motores de baixa e alta tensão, inversores, controles e sistemas de gerenciamento térmico.
Estabelecimento no Brasil	1947
Localização (Matriz)	Gravataí - RS
Faturamento 2021 (milhões de dólares - Global)	3 833
Número de Funcionários (Brasil, 2018)	~3 000
Número de Plantas (Brasil)	5

Fonte: Elaboração própria com base em DANA (2022).

Meritor

A Meritor é hoje a principal fornecedora de eixos e sistemas para o drivetrain de veículos comerciais pesados na América do Sul com receita total de US\$ 3,8 bilhões em 2021. A companhia tem

origem com a Timken-Detroit Axle Division, fundada em 1909 em Detroit, Estados Unidos, e a Rockwell Manufacturing Company, fundada em 1919, que se consolidaram posteriormente. No Brasil, as origens da companhia remontam a 1956, quando foi estabelecida uma fábrica em Osasco –SP, a partir da união entre a Cobrasma– Companhia Brasileira de Material Ferroviário - e a Timken-Detroit Axle Division, divisão da Rockwell Spring & Axle (maior produtora de eixos para caminhões na década de 1950), criando assim a Cobrasma Rockwell Eixos S.A. (Cresa). O nome Meritor surgiu com o desmembramento do braço automotivo da Rockwell International em 1997, absorvendo a operação brasileira (PARANAPANEMA, 2022). Hoje, a companhia possui 2 unidades produtivas no Brasil, em Osasco – SP e Resende – RJ (parte do Consórcio Modular da VWCO), e planeja investir em uma nova unidade produtiva em Roseira – SP.

Entre 2014 e 2021, a Meritor do Brasil investiu US\$ 18,6 milhões para ampliação de sua unidade produtiva em Osasco-SP. Esses investimentos deram a essa unidade produtiva capacitações produtivas para fabricar alguns eixos para ônibus elétricos, como o MS-120 Eco, desenvolvido no Brasil e que é acoplado ao motor elétrico nos caminhões e-delivery da VWCO (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2021) e, também, do 14xe, trem de força elétrico para caminhões pesados, que é produzido nos EUA e deve chegar ao Brasil nos próximos anos. Esses produtos são desenvolvidos pela marca Blue Horizon, unidade de negócio da Meritor focada em eletrificação.

Nos Estados Unidos, atualmente a Meritor fornece componentes de powertrain elétrico para caminhões e ônibus, incluindo motor elétrico e inversor, eletrônica de potência, bateria, acessórios eletrificados e os softwares e controles associados para caminhões e ônibus médios e pesados.

Portanto, trata-se de uma empresa que produz componentes de powertrain eletrificado para os veículos comerciais pesados e, embora suas atividades de eletrificação no Brasil ainda estejam voltadas para os caminhões, a empresa vem construindo competências que lhe possibilitam atuar também no segmento de ônibus elétricos como fornecedora de eixos elétricos e componentes de powertrain.

Quadro 21
Informações - Meritor

Empresa	Meritor do Brasil
Origem Capital	Estados Unidos
Principais Produtos	Eixos elétricos modulares, motor elétrico, inversor eletrônica de potência, bateria, acessórios eletrificados, software e hardware
Estabelecimento no Brasil	1956
Localização (Matriz)	Osasco - SP
Faturamento 2021 (milhões de dólares - Global)	3 833
Número de Funcionários (Global)	9 600
Número de Plantas (Brasil)	2

Fonte: Elaboração própria com base em Meritor (2022).

WEG

A WEG é uma empresa brasileira fundada em 1961 em Jaraguá do Sul – SC, inicialmente produzindo motores elétricos em geral. Na década de 1980, a empresa passou a produzir também componentes microeletrônicos, transformadores de força e sistemas de distribuição elétrica, produtos para automação industrial, tintas e vernizes eletro isolantes. Atualmente, a empresa possui operações industriais em 12 países e presença comercial em 135 países, atuando em diversos nichos de bens de capital e equipamentos eletroeletrônicos, incluindo máquinas elétricas, automação, tintas, energias renováveis e mobilidade elétrica.

A WEG foi um dos fornecedores nacionais parceiros da Marcopolo para o desenvolvimento do ônibus elétrico Attivi. O ônibus conta com um motor elétrico trifásico com 395 kW de potência e 2.800 Nm de torque e seu inversor de frequência (WEG, 2021) associado. Além disso, a empresa desenvolveu um ônibus elétrico com painéis solares em conjunto com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) que já rodou mais de 100 mil quilômetros. A empresa integra ainda o e-consórcio, da Volkswagen Caminhões e Ônibus, fornecendo powertrain para a linha de veículos comerciais elétricos da montadora (WEG, 2021), tendo parcerias também com outras montadoras de ônibus elétricos no Brasil, como a Eletra e a Mercedes-Benz.

A WEG afirma que, no caso do powertrain elétrico, atualmente sua produção é bastante flexível e busca atender às necessidades e especificações de cada cliente, sendo necessário o aumento da demanda para 500 a 700 unidades por mês de motores elétricos e powertrain para viabilizar a criação de um negócio único e dedicado para estas tecnologias (BARASSA et al., 2022). Contudo, é possível encontrar produtos para veículos pesados no catálogo mais recente disponível, de 2020.

Quadro 22
Informações - WEG

Empresa	WEG
Origem Capital	Brasil
Principais Produtos	Motores de baixa e alta tensão, eletrônica de potência, inversores e outros componentes de gerenciamento do powertrain, estações de recarga
Estabelecimento no Brasil	1947
Localização (Matriz)	Jaraguá do Sul - SC
Faturamento 2021 (milhões de Reais - Global)	23 560
Número de Funcionários (Global)	36 900
Número de Plantas (Brasil)	15

Fonte: Elaboração própria com base em WEG (2022).

Suspensys

A Suspensys Sistemas Automotivos é uma empresa brasileira fundada em 1997, que hoje faz parte do grupo Empresas Randon. É líder nacional na produção de sistemas de suspensões, eixos, vigas, cubos, tambores de freios e suportes para veículos comerciais e possui duas unidades produtivas no Brasil, uma em Caxias do Sul (RS) e outra em Resende (RJ), onde faz parte do Consórcio Modular da VWCO desde 2020.

Em 2019, a Suspensys anunciou o lançamento do sistema e-Sys, um módulo de tração auxiliar com motor elétrico para semirreboques que foi desenvolvido com tecnologia nacional, e que atua como um sistema KERS (Kinetic Energy Recovery Systems) para recuperação da energia de frenagem. O sistema opera a partir de um conjunto eletromecânico formado por uma Unidade de Controle Eletrônico (ECU, na sigla em inglês), bateria, inversor e motor elétrico da WEG acoplado a um eixo desenvolvido exclusivamente para este fim (SUSPENSY, 2022).

Recentemente a empresa participou também do projeto do ônibus elétrico da Marcopolo, o Attivi, como fornecedora de componentes de chassi (TECHNIBUS, 2021)

Quadro 23
Informações - Suspensys

Empresa	Suspensys
Origem Capital	Brasil
Principais Produtos	Componentes de chassi, suspensões, eixos
Estabelecimento no Brasil	1997
Localização (Matriz)	Caxias do Sul - RS
Faturamento 2021	Não divulgado
Número de Funcionários	Não divulgado
Número de Plantas (Brasil)	2

Fonte: Elaboração própria com base em SUSPENSY (2022).

Metalsa

Fundada em 1956 no México, a Metalsa é fornecedora de componentes de chassis para caminhões e ônibus, longarinas para caminhões e peças estampadas. Possui duas fábricas no país, uma em Campo Largo, no Paraná, e outra em Osasco, São Paulo.

Recentemente, a Metalsa participou do projeto do Marcopolo Attivi, primeiro ônibus elétrico da Marcopolo, como fornecedora de componentes de chassi (TECHNIBUS, 2021).

Quadro 24
Informações - Metalsa

Empresa	Metalsa
Origem Capital	México
Principais Produtos	Chassis e componentes, peças estampadas
Estabelecimento no Brasil	2008
Localização (Matriz)	Osasco – SP
Faturamento 2021	Não informado
Número de Funcionários	Não informado
Número de Plantas (Brasil)	2

Fonte: Elaboração própria com base em METALSA (2022).

Globus Eletronics

A Globus Eletronics é uma empresa fundada em 1998 em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, especializada em controladores e dispositivos eletrônicos. Fornece kits de automação para sistemas de HVAC automotivo, incluindo painéis de controle, ECUs etc., inclusive para sistemas de ar-condicionado para ônibus elétricos de fabricação nacional, como o oferecido pela Rehem (ver a seguir).

Quadro 25
Informações - Globus Eletronics

Empresa	Globus eletronicos
Origem Capital	Brasil
Principais Produtos	Módulos eletrônicos e kits de automação para sistemas de HVAC
Estabelecimento no Brasil	1998
Localização (Matriz)	Porto Alegre - RS
Faturamento	N/A
Número de Funcionários	N/A
Número de Plantas (Brasil)	2
Globus eletronicos - Porto Alegre	Sem imagem

Fonte: Elaboração própria com base em GLOBUS ELECTRONICS (2022).

Rehem

A Rehem é uma empresa de São Paulo – SP que fabrica e comercializa sistemas de climatização para ônibus, micro e van, motorhome, trailer, carro forte entre outros projetos especiais aplicados no transporte rodoviário, fluvial e ferroviário. Os principais produtos do seu portfólio são aparelhos de ar-condicionado para ônibus.

Em 2019, a Rehem apresentou, durante a 21ª edição da Febrava (Feira Internacional de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação, Aquecimento e Tratamento de Ar), um aparelho de ar-condicionado especialmente desenvolvido para os ônibus elétricos, o EL 100, modelo do tipo rooftop com capacidade de refrigeração de 100.000 BTUs e que utiliza o gás refrigerante R134a e o controlador eletrônico da Globus.

Quadro 26
Informações - Rehem

Empresa	Rehem
Origem Capital	Brasil
Principais Produtos	Sistemas de climatização (HVAC)
Estabelecimento no Brasil	1994
Localização (Matriz)	São Paulo - SP
Faturamento	N/A
Número de Funcionários	N/A
Número de Plantas (Brasil)	1
Rehem - São Paulo	Sem imagem

Fonte: Elaboração própria com base em REHEM (2022).

Valeo Thermal Bus

O grupo Valeo, de origem francesa, surgiu em 1923 em Saint-Ouen, nos arredores de Paris. No Brasil, a empresa atua desde 1974, quando adquiriu a fábrica brasileira de radiadores Sofica em Itatiba-SP e a unidade da Cibié em Interlagos-SP. No Brasil, o grupo produz radiadores, eletroventiladores, intercoolers, ar-condicionado, compressores, evaporadores, faróis, lanternas,

palhetas, atuadores e embreagens. Fora do país, a empresa tem investido no desenvolvimento e produção de componentes de powertrain elétrico para veículos de passeio, além de sistemas de conectividade e condução autônoma, além de sistemas de HVAC avançados.

No Brasil, até o momento, a empresa se insere na cadeia produtiva de ônibus elétricos oferecendo sistemas de refrigeração através de sua divisão Valeo Thermal Bus. Desde a compra da Spheros (O MECÂNICO, 2018), empresa especializada em sistemas de ar-condicionado para ônibus, em 2018, a empresa é líder no fornecimento de sistemas HVAC para ônibus no Brasil.

A empresa oferece, no catálogo brasileiro, três modelos de ar-condicionado para ônibus elétricos: o CC205-E, voltado para os microônibus, com 85.000 BTUs de capacidade de refrigeração e que, assim como o modelo da Rehem, também utiliza o gás R134a (3,4kg) como refrigerante. Para os ônibus acima de 12 metros são oferecidos os modelos REVO®-E Global, com 85.000 ou 112.600 BTUs, podendo ter duas opções de gás refrigerante utilizado (R134a ou R407c), e o modelo CC355-E, de 110.000 BTUs, que utiliza o gás refrigerante R407C. A empresa também fornece o controlador eletrônico e o conversor 24v/12v.

Quadro 27
Informações - Valeo Thermal

Empresa	Valeo Thermal Bus
Origem Capital	França
Principais Produtos	Sistemas de climatização eletrificados (HVAC)
Estabelecimento no Brasil (Grupo Valeo)	1974
Localização (Matriz)	Caxias do Sul - RS
Faturamento (2020 – Brasil – Grupo Valeo) (R\$ milhões)	183
Número de Funcionários (Grupo Valeo Brasil)	3 200
Número de Plantas (Brasil)	2

Fonte: Elaboração própria com base em VALEO (2022).

Além das grandes empresas estabelecidas, identificamos também algumas startups e pequenas empresas de capital nacional e com potencial para crescer no âmbito da cadeia produtiva de ônibus elétricos. Algumas dessas empresas serão apresentadas a seguir:

Tracel

A Tracel é uma empresa de base tecnológica surgida como spin-off do COPPE/UFRJ e tem uma fábrica em Duque de Caxias – RJ. A empresa atua na área de eletrônica de potência, metal mecânica, controle e automação. Para ônibus elétricos, a empresa fornece conversores de corrente, inversores de frequência, sistema de controle eletrônico do veículo.

Innovaklim

A Innovaklim é uma startup de Santa Catarina com sede em Indaial e filiais em Florianópolis e Campinas, especializada no desenvolvimento de soluções de mobilidade sustentável, que anunciou recentemente o desenvolvimento de um projeto de um ar-condicionado elétrico combinado com placas solares em conjunto com a empresa Comil Ônibus, utilizando o gás refrigerante R 410a, que provoca menor impacto ambiental (TECHNIBUS, 2022).

Montadoras e empresas de chassis (OEMs)

Nesta seção, são apresentadas as principais montadoras de chassis completos (OEMs) e empresas encarregadoras presentes na cadeia produtiva dos ônibus elétricos com produção ou com planos de produção no Brasil.

- Montadoras de Chassis de ônibus urbanos elétricos
 - Mercedes-Benz do Brasil;
 - Volkswagen Caminhões e Ônibus;
 - Volvo do Brasil;
 - BYD;
 - Eletra;
 - Higer Bus;
 - Marcopolo.
- Encarregadoras de Ônibus urbanos elétricos
 - Marcopolo;
 - Caio Induscar.

Em relação às montadoras tradicionais no setor de ônibus à diesel no Brasil (Capítulo 2), atualmente apenas a Mercedes-Benz já oferece chassis para ônibus elétricos no país, embora outras OEMs já tenham anunciado planos de investimento para o desenvolvimento e produção de chassis e ônibus elétricos no país.

Mercedes-Benz

No segundo semestre de 2021, a Mercedes-Benz anunciou o lançamento do chassi eO500U, primeiro chassi de ônibus elétrico totalmente desenvolvido no Brasil e adaptado às condições de uso do país. Para o desenvolvimento do produto, foram destinados cerca de R\$ 100 milhões. O chassi foi desenvolvido no Centro Mundial de Competência da Daimler para desenvolvimento de chassis de ônibus, em São Bernardo do Campo - SP.

Chassi para ônibus eO500U: o chassi eO500U utiliza como base o chassi O500, apresentado no Capítulo 2. Trata-se de um modelo Padron 4x2 de piso baixo que pode receber carrocerias de até 13,2 m, com motor elétrico integrado no eixo traseiro.

Volkswagen Caminhões e Ônibus

Embora ainda não tenha anunciado nenhum modelo de ônibus elétrico no país, a Volkswagen Caminhões e Ônibus possui importantes competências produtivas através do e-Consórcio estabelecido no complexo de Resende-RJ, que já fabrica os caminhões elétricos da linha e-Delivery (BARASSA et al., 2022).

O e-Consórcio tem como inspiração o Consórcio Modular, inaugurado em 1996 e no qual sete fornecedores se uniram em Resende-RJ para compartilhar investimentos, tecnologias e processos produtivos. No caso do e-Consórcio, participam oito empresas de capital nacional, envolvidas nas atividades de produção, engenharia, fornecimento de infraestrutura de recarga e manutenção. São elas a WEG (motores elétricos, inversor de tração), CATL e Grupo Moura (células para baterias lítio, montagem da bateria, manutenção e destinação final das baterias), Eletra (desenvolvimento do chassi e montagem de protótipos), BOSCH (sistemas de gerenciamento eletrônico), Meritor (eixos elétricos), Semcom (desenvolvimento da tração elétrica, montagem dos protótipos) e Siemens (infraestrutura e estações de recarga) (BARASSA et al., 2022).

Volvo

Recentemente, a Volvo anunciou um novo ciclo de investimentos de R\$ 1,5 bilhão entre 2022 e 2025, que inclui o desenvolvimento e produção de ônibus e caminhões elétricos no Brasil a partir de 2025, na unidade industrial de Curitiba-PR (INSIDEEVS, 2022). Em âmbito global, a empresa já anunciou que todos os ônibus urbanos produzidos pela marca deverão ser elétricos até 2030 (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2022). Na Europa, a empresa já comercializa o modelo Volvo 7900 Electric, que já foi testado na América Latina (INSIDEEVS, 2021).

BYD

A BYD (Build Your Dreams) é uma empresa de capital chinês criada em 1995, inicialmente atuando no setor de tecnologia e energia, mas que, ao longo dos anos, adquiriu competências para a fabricação de veículos elétricos e componentes, especialmente baterias, dentre outros produtos. O primeiro ônibus elétrico da marca foi o BYD K9, produzido em 2008. Atualmente, a empresa está presente em 50 países, conta com mais de 290 mil funcionários e receita líquida de US\$ 33,5 bilhões (BYD, 2022).

No Brasil, a empresa se estabeleceu em 2014. Em 2016, a empresa inaugurou a sua linha de montagem de chassis para ônibus elétricos em Campinas – SP, com capacidade produtiva de 720 chassis por ano, mas com estrutura para expandir para até 1.440 chassis/ano. Em 2020, a empresa iniciou a operação de sua fábrica de baterias no Polo Industrial de Manaus – AM. A BYD também comercializa outros veículos leves e pesados totalmente elétricos no país, embora estes sejam importados da China, além de estações de recarga para veículos elétricos.

A BYD comercializa seis modelos de chassis para ônibus elétricos a bateria no mercado brasileiro e trabalha em parceria com encarregadoras nacionais, como a Marcopolo, Volare e Caio.

- Chassi para ônibus D7M: equipado com dois motores BYD-TYC90-A (potência nominal de 90kW/122cv e torque nominal de 280 Nm cada) importados da China, integrados em cada uma das rodas do eixo traseiro, contando com um módulo de controle eletrônico de tração, eixo dianteiro ZF e eixo traseiro BYD. Foi desenvolvido para aplicação em carroceria com até 9 m de comprimento e peso bruto total (PBT) de 13.100 kg (BYD, 2022).
- Chassi para ônibus D9W piso baixo: Equipado com dois motores BYD-2912TZ-XY-A (potência nominal de 110kW/149 cv e torque nominal de 400 Nm cada) importados da China, integrados em cada uma das rodas do eixo traseiro, contando com um módulo de controle eletrônico de tração, eixo dianteiro ZF e eixo traseiro BYD. Foi desenvolvido para aplicação em carroceria com até 13,2 m com peso bruto total (PBT) de 20.300 kg (BYD, 2022).
- Chassi para ônibus D9A piso alto: equipado com dois motores BYD-2912TZ-XY-A (potência nominal de 110kW/149 cv e torque nominal de 400 Nm cada) importados da China, integrados em cada uma das rodas do eixo traseiro, contando com um módulo de controle eletrônico de tração, eixo dianteiro Fang Sheng e eixo traseiro BYD. Foi desenvolvido para aplicação em carroceria com até 13,2 m com peso bruto total (PBT) de 19.500 kg (BYD, 2022).
- Chassi para ônibus D9F: equipado com dois motores BYD-2912TZ-XY-A (potência nominal de 110kW/149 cv e torque nominal de 400 Nm cada) importados da China, integrados em cada uma das rodas do eixo traseiro, contando com um módulo de controle eletrônico de tração, eixo dianteiro Fang Sheng e eixo traseiro BYD. Foi desenvolvido para operações de fretamento e linhas rodoviárias de curta e médias distâncias com aplicação em carroceria com até 13,2m e peso bruto total (PBT) de 19.500 kg (BYD, 2022).
- Chassi para ônibus D11A piso alto: equipado com quatro motores BYD-2912TZ-XY-A (potência nominal de 110kW/149 cv e torque nominal de 400 Nm cada) importados da China,

integrados em cada uma das rodas do 2º e 3º eixos, contando com um módulo de controle eletrônico de tração, eixo dianteiro e auxiliar ZF e eixos motrizes BYD. Foi desenvolvido para projetos de BRT com aplicação em carroceria com até 23 m e peso bruto total (PBT) de 41.000 kg (BYD, 2022).

- Chassi para ônibus D11B piso baixo: equipado com quatro motores BYD-2912TZ-XY-A (potência nominal de 110kW/149 cv e torque nominal de 400 Nm cada) importados da China, integrados em cada uma das rodas do 2º e 3º eixos, contando com um módulo de controle eletrônico de tração, eixo dianteiro e auxiliar ZF e eixos motrizes BYD. Foi desenvolvido para aplicação em carroceria com até 22 m e peso bruto total (PBT) de 41.000 kg (BYD, 2022).

Quadro 28
Informações - BYD

Empresa	BYD
Origem Capital	China
Principais Produtos	Chassis de ônibus elétricos, estações de recarga, baterias, painéis fotovoltaicos, sistemas de fornecimento e armazenamento de energia
Estabelecimento no Brasil	2014
Localização (Matriz)	Campinas - SP
Faturamento 2021 (US\$ milhões, global)	33 500
Número de Funcionários (Brasil, 2020)	349
Número de Plantas (Brasil)	2

Fonte: Elaboração própria com base em BYD (2022).

Eletra

A Eletra - Tecnologia de Tração Elétrica é uma empresa brasileira que fabrica ônibus elétricos puros, trólebus e híbridos, além de atuar na conversão de ônibus à diesel para elétrico (e-Retrofit). A empresa foi oficialmente estabelecida no dia 22 de agosto de 2000, em São Bernardo do Campo – SP, embora tenha fabricado seu primeiro ônibus híbrido ainda em 1999, nas garagens da Autoviação ABC. Em 2013, a empresa lançou o primeiro ônibus elétrico fabricado no Brasil, um articulado de 18 m. Recentemente, a empresa participou do desenvolvimento do e-Delivery, da VWCO, em Resende – RJ. (ELETRA, 2022).

A Eletra também atua em parceria com outras fabricantes de chassis e encarroçadoras, como a Mercedes-Benz, Caio, Marcopolo, além das fornecedoras de powertrain e baterias WEG e Grupo Moura, sendo responsável pela integração dos diversos sistemas e kits de eletrificação, os quais possuem um índice de nacionalização de 82%, excluindo as baterias (BARASSA et al., 2022).

Em maio de 2022, a Eletra anunciou a mudança para uma nova instalação produtiva também em São Bernardo do Campo – SP, onde será capaz de produzir até 1.800 ônibus elétricos e híbridos por ano, visando atender não só o mercado brasileiro como também outros países latino-americanos como Argentina, Equador e México. A empresa anunciou também que comercializará uma linha de estações de recarga para ônibus e caminhões, com potência entre 15 kW e 120 kW (INSIDEEVS, 2022).

Quadro 29
Informações - Eletra

Empresa	Eletra
Origem Capital	Brasil
Principais Produtos	Ônibus elétricos e híbridos, estações de recarga, e-retrofit, integração de sistemas
Estabelecimento no Brasil	2000
Localização (Matriz)	São Bernardo do Campo - SP
Faturamento 2021	-
Número de Funcionários	-
Número de Plantas (Brasil)	1

Fonte: Elaboração própria com base em ELETRA (2022).

Higer Bus

A Higer Bus é uma empresa de capital chinês fundada em 1998 em Suzhou e uma das principais empresas chinesas de ônibus. A empresa possui cerca de 4.000 funcionários globalmente. No Brasil, através da empresa Tevx Motors Group, a empresa comercializa uma série de ônibus elétricos importados com fabricação chinesa, apesar de contar com modelos desenvolvidos especificamente para o mercado brasileiro, como o Azure A12BR, Azure A13BR e A18BR articulado (HIGER, 2022). Em julho de 2022, a empresa assinou um acordo com o governo do Ceará para implementação de uma fábrica em Pecém, com investimentos estimados em R\$20 milhões, embora o processo de fabricação envolva apenas a montagem das partes, que continuam sendo importadas da China via PKD, ou seja, a estrutura do ônibus será trazida sem os componentes, que podem ser adquiridos no mercado nacional. Entre os fornecedores de componentes anunciados pela montadora com participação no país, destacam-se a Dana como fabricante do motor elétrico, Bosch para caixas de direção, Valeo Thermal Bus para o sistema de ar-condicionado, e ZF para os eixos, embora a princípio não existam garantias de que esses componentes sejam nacionalizados. A empresa assinou ainda uma parceria com a ENEL que consiste num modelo de gestão da operação, incluindo o fornecimento de energia elétrica, manutenção, peças de reposição, carregadores e a troca de bateria no oitavo ano, incluindo o descarte da bateria pela Higer (CPG, 2022; PLANETA CAMINHÃO, 2022).

Marcopolo

A Marcopolo, apresentada no Capítulo 2 como encarroçadora, trabalha com outras empresas fabricantes de chassis elétricos no país. O ônibus Marcopolo Attivi Express, por exemplo, utiliza o chassi articulado BYD 11B (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2020), e o Viaggio 1500 elétrico utiliza chassi BYD D9A (MARCOPOLO, 2022). Além disso, a Volare, também do grupo Marcopolo, oferece o modelo Volare Access-e com chassis BYD D7M.

Não obstante, a empresa vem buscando ampliar suas competências e sua presença no segmento através do desenvolvimento de um chassis elétrico in-house: em 2021, durante a 18ª Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, a Marcopolo apresentou seu primeiro ônibus elétrico com chassi desenvolvido pela própria companhia, através de parceria com diversos fornecedores nacionais, como WEG, Baterias Moura, Dana do Brasil, Meritor, Metalsa, e Suspensys, tendo um índice de nacionalização de cerca de 50% (TECHNIBUS, 2021). O Marcopolo Attivi já foi homologado e deve ter sua produção iniciada ainda no segundo semestre de 2022. A infraestrutura de recarga também será oferecida para os clientes.

Chassi/ônibus Marcopolo Attivi: Equipado com motor WEG de 395 kW/537 cv e 2.800 Nm de torque, será vendido como ônibus completo (carroçaria + chassi), para aplicações com até 13,25 m⁸.

⁸ <http://www.marcopolo.com.br/marcopolo/attivi>.

Caio

A Caio (Companhia Americana Industrial de Ônibus) é uma empresa brasileira fundada em 1945 em São Paulo como encarregadora de ônibus. Atualmente, a empresa conta com cerca de 3000 funcionários e está presente em mais de 50 países. A empresa controla outras encarregadoras tradicionais, como a Busscar, A Caio tem atuado em conjunto com a Mercedes-Benz, fornecendo a carroceria para os recém-lançados chassis eO500U da montadora, além de ter também projetos em conjunto com a Eletra e a BYD. Em todos esses casos, a empresa disponibiliza o modelo de carroceria Millennium nas versões padron, BRT, BRT articulado, e superarticulado. A empresa forneceu também carroceria para os chassis de ônibus elétricos da CaetanoBus, de Portugal (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2022).

Além das duas encarregadoras acima, outras fabricantes nacionais também já apresentaram projetos de ônibus elétricos, como a Comil, que em 2020 apresentou o modelo Campione Invictus 1200 sobre o chassi BYD D9F (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2020), e a Mascarello, que em 2020 também apresentou um modelo com chassi BYD (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2020) para homologação. Entretanto, não foram encontradas informações mais recentes sobre veículos elétricos montados por essas empresas.

2. Cadeia produtiva de ônibus elétricos no Brasil (downstream)

A presente seção tem como objetivo descrever os atores e as atividades da cadeia produtiva de ônibus elétricos *downstream*, que englobam os serviços de vendas de ônibus e componentes novos, reparação dos veículos, revenda de ônibus, além do fornecimento de infraestrutura de recarga e energia para os veículos.

Vendas de ônibus e componentes, serviços e reparação, revenda de ônibus

As atividades que contemplam a comercialização e distribuição de ônibus, peças e componentes possuem, em certa medida, similaridade com a estrutura existente para os ônibus à diesel, com a ressalva de que algumas dessas atividades ainda não estão sendo desenvolvidas com grande amplitude no país, como a revenda dos veículos, uma vez que os ônibus elétricos ainda estão em fase inicial de penetração de mercado.

As principais diferenças estruturais se dão nos serviços de reparação e manutenção, como já discutido na Seção 3.1, já que a arquitetura do powertrain, baterias e dos sistemas auxiliares é radicalmente distinta no caso dos veículos elétricos. As entrevistas realizadas no presente estudo indicam que, pelo menos durante os primeiros anos, as próprias montadoras serão responsáveis por ofertar os serviços de reparação dos ônibus, que exigem mão de obra altamente especializada para trabalhar nos sistemas de alta tensão e, também, no *software* dos veículos. Contudo, é possível que, a partir da adoção dos ônibus elétricos em larga escala, apareçam empresas de serviços de manutenção especializadas para esses veículos.

Fornecedores de infraestrutura e energia

A presente seção trata dos fornecedores de infraestrutura e energia para as frotas de ônibus elétricos no Brasil. Essas atividades adicionam novos atores à cadeia produtiva *downstream*, já que os ônibus elétricos dependem das empresas do setor de geração e distribuição de energia elétrica e dos sistemas de infraestrutura de recarga para o funcionamento do veículo.

Muitas das montadoras e fornecedoras de componentes descritas no presente estudo oferecem, além do veículo e seus sistemas, soluções de infraestrutura de recarga e de fornecimento de energia gerada por fontes renováveis.

A BYD, por exemplo, através da BYD Energy do Brasil, fornece soluções técnicas e sistemas de recarga para as frotas de ônibus elétricos que incluem, desde a geração da eletricidade através de

fazendas solares, passando por sistemas de armazenamento de energia e estações de recarga, como um pacote oferecido às operadoras que adquirem os ônibus elétricos da marca.

Além de fornecer motores e inversores, a WEG oferece também estações de recarga ultrarrápida para veículos pesados em corrente contínua padrão CCS2 – DC com a linha WEMOB – WEG Electric Mobility. A empresa inclusive forneceu algumas dessas estações para a fábrica de ônibus elétricos da Mercedes-Benz em São Bernardo do Campo – SP (ÔNIBUS E TRANSPORTE, 2022), e deve atuar em parceria com a montadora para oferecer a infraestrutura de recarga para os clientes que adquirirem os ônibus elétricos da marca. Da mesma forma, a Eletra e a Marcopolo também já anunciaram linhas de estações de recarga para seus clientes.

Além das montadoras e fornecedoras, existem no mercado outras empresas especializadas no fornecimento de infraestrutura de recarga para os ônibus elétricos.

Dentre as empresas de fornecimento de eletricidade, existem empresas que, de alguma forma, estão envolvidas com a eletrificação do transporte urbano no Brasil, através de participação no financiamento de frotas elétricas nas cidades ou no desenvolvimento e implementação de projetos de eletrificação do transporte urbano, por exemplo. Neste sentido, destaca-se aqui três exemplos: a Enel, EDP e CPFL Energia.

EDP Brasil

A EDP – Energias de Portugal, é uma empresa portuguesa fundada em 1976, a partir da junção de 14 companhias de eletricidade nacionalizadas. No Brasil, a EDP tem operações desde 1996 e é uma das maiores empresas privadas do setor elétrico a operar em toda a cadeia de valor, com atividades de distribuição nos estados de São Paulo e Espírito Santo, além de ser a principal acionista da Celesc, em Santa Catarina, atividades de transmissão no Espírito Santo, Maranhão, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, e atividades de geração de energia em sete usinas espalhadas pelo país.

A empresa atua também no segmento de mobilidade elétrica, como consultora em projetos de eletrificação de frotas de ônibus, através de contratos de médio a longo prazo que incluem o leasing dos veículos e baterias, implantação de infraestrutura de apoio e fornecimento de energia.

Além disso, a EDP participou de diversos projetos piloto no âmbito dos ônibus elétricos no país, em parceria com instituições como a Universidade Estadual Paulista (Unesp) na implementação de um ônibus elétrico movido exclusivamente a energia solar no Ceará (ESTADÃO, 2022), além de parceria com a VIX Logística, WEG e Certi no Espírito Santo em que preconiza a implementação de um ônibus elétrico rodoviário e de infraestrutura de recarga (DIÁRIO DO TRANSPORTE, 2020), via recursos da Chamada 22 (P&D ANEEL) (CANALENEGIA, 2019).

Em 2020, a EDP aderiu à coalizão de empresas liderada pelo C40 através da Aliança ZEBRA (sigla do inglês para Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator) para acelerar a implementação de ônibus de emissão zero na América Latina.

Enel Brasil

A Enel Brasil é uma das maiores empresas privadas no setor de energia elétrica do país. Com sede em Niterói - RJ, o grupo atua nos segmentos de distribuição, geração de energia, transmissão e soluções de energia. A empresa é uma subsidiária do Grupo Enel, que atua em 31 países com uma capacidade instalada em torno de 89,8 GW, sendo 50,5 GW de energia renovável (ENEL, 2022). No Brasil, a companhia opera nos Estados do Rio de Janeiro, Ceará, Goiás e São Paulo, sendo o maior operador de energia solar e eólica do Brasil em termos de capacidade instalada.

Através da divisão de soluções de energia, chamada de Enel X, o grupo participou de diversos projetos de eletrificação da mobilidade urbana em cidades da América Latina, participando de diversos aspectos das negociações, do desenvolvimento e da condução dos projetos, desde escolhas como o tipo

de veículo, bateria, até a implementação e gerenciamento da infraestrutura de recarga, estrutura das garagens e a plataforma de gerenciamento da frota eletrificada (ESTADÃO, 2021). No Brasil, esteve envolvida em diversos projetos piloto de eletrificação em cidades como Goiânia (EPBR, 2022) e Rio de Janeiro (INSIDEEVs, 2021). Assim como a EDP, a Enel X aderiu à coalizão de empresas liderada pelo C4o através da Aliança ZEBRA, em 2020.

CPFL Energia

A CPFL Energia é uma empresa brasileira com negócios em distribuição, geração, transmissão, comercialização de energia elétrica e serviços, que atua em todas as regiões do país. Fundada em Campinas – SP em 1912, a empresa é controlada pela chinesa *State Grid Corporation* desde 2017. A empresa tem participação em projetos piloto de implementação de ônibus elétricos em parceria com instituições como a Unicamp (Universidade de Campinas), *Time Energy* e Porakê. A CPFL Energia viabilizou a compra do ônibus com chassi BYD e carroceria Marcopolo em 2020, através de recursos do programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (BYD, 2020).

Financiamento e funding

Nessa seção, são apresentados alguns dos principais atores envolvidos no financiamento da compra e operação dos ônibus elétricos no Brasil.

BNDES

O BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social oferece linhas de financiamento a juros subsidiados no âmbito dos programas BNDES Finame, Fundo Clima, e Finem. A linha BNDES Finame Baixo Carbono oferece financiamento para aquisição e comercialização de máquinas e equipamentos com maiores índices de eficiência energética ou que contribuam para redução da emissão de gases de efeito estufa, incluindo a aquisição de ônibus elétricos e híbridos, chassi, equipamentos de recarga e infraestrutura de geração e abastecimento de hidrogênio. Todos os produtos devem ser novos, de fabricação nacional e credenciados no Credenciamento Finame (CFI) do Sistema BNDES. As linhas BNDES Fundo Clima, através do subprograma Máquinas e Equipamentos Eficientes e a linha BNDES Finem – Meio Ambiente também oferece financiamento para a aquisição de ônibus elétricos.

ANEEL

A ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica é a agência responsável por gerenciar os recursos captados através da Lei nº 9.991/2000, que determina a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. Parte desses recursos é direcionada para as Chamadas de Projetos de P&D Estratégicos. Empresas do setor de energia já utilizaram esses recursos para financiar projetos-piloto para a implementação de ônibus elétricos, como é o caso da CPFL Energia exemplificado na seção anterior.

C. Considerações finais do capítulo: Cadeia produtiva de ônibus elétricos em construção e com competências em desenvolvimento

O presente capítulo buscou analisar as principais diferenças entre a cadeia produtiva dos ônibus elétricos em relação à cadeia produtiva dos ônibus à diesel, apresentada no capítulo anterior. Também buscou-se elencar os principais atores da cadeia de ônibus elétricos que possuem produção nacional.

Conforme apurado nas entrevistas e no registro da movimentação dos principais atores do sistema em relação à formação de competências para a cadeia produtiva do ônibus elétrico no Brasil, essa seção apresenta uma breve análise das fortalezas e dos gargalos no âmbito da produção de ônibus elétricos e componentes no país.

Em primeiro lugar, os fornecedores com produção nacional responsáveis pelos componentes estruturais e mecânicos (metalmecânica) já possuem as competências necessárias para fornecer seus respectivos componentes para a fabricação dos ônibus elétricos no país. Esse diagnóstico é corroborado pelo fato de que, até o momento, não existem grandes mudanças tecnológicas e produtivas que afetam significativamente esses componentes, quando se comparam as cadeias produtivas dos ônibus à diesel e elétricos.

No entanto, como discutido na primeira seção do capítulo, existe uma tendência de aumento no grau de modularização de componentes como powertrain, suspensão, freios etc. em pacotes integrados, como os eixos elétricos (e-axles), além do desenvolvimento de estruturas de chassi alternativas, que eventualmente podem se revelar mais eficientes que as arquiteturas dominantes atualmente, ou seja, a carroceria sobre chassi, que foi herdada dos ônibus à diesel. Mudanças mais profundas no design estrutural dos veículos exigiriam uma reorganização de elos da cadeia produtiva.

Ainda por conta dessas tendências, verifica-se que muitas empresas do setor já se movimentam rumo ao desenvolvimento de competências tecnológicas e produtivas que lhes permitam diversificar e adaptar sua gama de produtos no cenário de eletrificação dos ônibus vendidos no país. Entre os fornecedores de componentes, por exemplo, muitas empresas vêm buscando oferecer opções de eixos eletrificados, motores elétricos, estações de recarga, baterias, eletrônica de potência. É notável que esse movimento esteja acontecendo mesmo entre as empresas sem experiência prévia na produção desses componentes. Outro exemplo emblemático —do ponto de vista das montadoras e encarroçadoras— é o da Marcopolo, que desenvolveu seu próprio chassi elétrico em colaboração com fornecedoras que atuam no mercado brasileiro como a WEG, Dana, entre outras.

A pesquisa nota que o país já conta com empresas competitivas, amadurecidas e capazes de oferecer componentes estratégicos com fabricação nacional, como é o caso da WEG, empresa que se destaca na fabricação de componentes de powertrain (motores elétricos), e que vem adquirindo competências na fabricação de outros sistemas essenciais aos ônibus elétricos, como baterias e estações de recargas. A eletrificação também abre espaço para o surgimento de novas empresas e startups no setor, como a Tracel, spin-off do COPPE/UFRJ que fornece sistemas eletrônicos e outras soluções para os ônibus elétricos, e a Innovaklim, startup que vem desenvolvendo um sistema inovador de ar-condicionado elétrico com placas solares.

Contudo, a pesquisa também aponta alguns desafios e gargalos desafiadores para a cadeia produtiva de ônibus elétricos brasileira. Além da produção das baterias e seus componentes, que será abordada em detalhes no próximo capítulo, o principal desafio para a cadeia no Brasil, apontado nas entrevistas, é a parte dos sistemas eletrônicos, como eletrônica de potência, inversor de frequência e outros sistemas que dependem de semicondutores e cabos de alta tensão, além do desenvolvimento de softwares.

Os semicondutores são componentes essenciais de todos os sistemas eletrônicos envolvidos nesses veículos e que atualmente se encontram escassos globalmente, afetando mesmo a cadeia produtiva dos ônibus convencionais e automóveis leves. Nos veículos elétricos, a utilização desses componentes é muito maior, o que gera um gargalo produtivo significativo.

O Brasil conta com alguns incentivos à cadeia produtiva de semicondutores, como o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays - PADIS foi instituído pela Lei nº 11.484/2007 e regulamentado pelo Decreto nº 6.233/2007, que trata-se de um conjunto de incentivos fiscais federais instituído com o objetivo de contribuir para a atração e ampliação

de investimentos na cadeia de produção de semicondutores e displays no país, além de insumos estratégicos para a cadeia produtiva, como o lingote de silício e o silício purificado. As empresas habilitadas para participar do programa desfrutam de desoneração de impostos e contribuições federais incidentes na implantação industrial, na produção, importação e comercialização dos equipamentos beneficiados. Em contrapartida, essas empresas são obrigadas a realizar investimentos em atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D). O programa, que teria vigência até janeiro de 2022, foi prorrogado até 2026. Além do PADIS, o Governo deverá anunciar, ainda em 2022, o Plano Nacional de Semicondutores, embora ainda não tenham sido anunciados detalhes sobre o plano.

De qualquer forma, a indústria nacional é incapaz de atender a demanda por semicondutores para fins automotivos e, até o momento, não existe perspectiva de nacionalização desses componentes por conta da competitividade da produção chinesa e das limitações tecnológicas e produtivas da indústria nacional. Hoje, o país só produz cerca de 10% dos semicondutores que consome, e a produção nacional é de componentes de memória que não são utilizados na indústria automotiva (AUTODATA, 2022), mas sim em celulares e computadores.

Outro gargalo apontado pelas entrevistas diz respeito à mão de obra especializada. No nível de engenharia de desenvolvimento, por exemplo, foi apontado que existe uma escassez de profissionais para se envolver nas áreas de software, desenvolvimento de baterias e sistemas eletrônicos. Por conta disso e pelo alto dinamismo tecnológico que demanda investimento constante em P&D, os fornecedores nacionais têm dificuldade de acompanhar a velocidade de transformação tecnológica e produtiva imposta ao setor.

Por fim, ainda segundo as informações primárias e secundárias apuradas na pesquisa, um grande desafio para a cadeia produtiva do setor de ônibus elétricos brasileira diz respeito a imprevisibilidade da demanda, relacionada ao baixo número de pedidos, falta de padronização nas especificações dos ônibus para os diferentes municípios, descentralização e falta de coordenação das políticas existentes e falta de mobilização do governo federal em relação à produção nacional. Juntos, esses elementos reduzem significativamente os incentivos para que a indústria nacional realize os investimentos necessários para adensar a cadeia produtiva local, criando um efeito “Chicken and egg”: sem demanda, os investimentos na cadeia produtiva local não são realizados, mas sem a cadeia produtiva local adensada, a produção nacional não consegue cobrar preços competitivos, que por sua vez faz com que a demanda não se concretize.

IV. Potencial cadeia de acumuladores de energia (baterias) no Brasil: histórico, perspectivas, desafios e oportunidades

Este capítulo é composto por duas seções. Na primeira será apresentada uma visão geral da cadeia de valor das baterias de íons de lítio em termos da sua principal matéria-prima, da estrutura da indústria e tendências do mercado. A segunda seção vai apresentar o conjunto de instituições de pesquisa e desenvolvimento, além do conjunto de empresas que estão atuando em cada um dos elos da cadeia de valor de baterias de íons de lítio no Brasil e, a conclusão, uma avaliação sobre os limites e as possibilidades da estruturação de uma cadeia de acumuladores de energia para ônibus elétricos no Brasil.

A. Uma visão sobre a cadeia de valor das baterias de íons de lítio

1. Caracterização dos recursos e notas conceituais sobre a tecnologia e fabricação de baterias de íons de lítio

O lítio (símbolo químico Li) é o metal mais leve da tabela periódica, de cor branca-prateada, podendo existir sob a forma metálica, carbonática, hidróxido, brometo e outros componentes complexos. O lítio ocorre na natureza em rochas, sais e na água.

Em concentrações econômicas, contudo, o lítio é encontrado em salmouras (continental brines) e em minerais de rocha dura, especialmente na forma do mineral espodumênio (MHE, 2022), embora seja encontrado também em outros minerais, como lepidolita (MHE (2022), petalita (WIKIPÉDIA, 2022) e zinnwaldites (MHE, 2022).

Devido à exploração contínua, os recursos de lítio identificados aumentaram substancialmente no mundo inteiro e totalizavam cerca de 89 milhões de toneladas no ano de 2021. Acredita-se que a Bolívia (onde se localiza o Salar de Uyuni) possui cerca de 21 milhões de toneladas, o que seria a maior

reserva⁹ de minério de lítio do mundo, mas cuja confirmação ainda requer a execução de pesquisa geológica detalhada (USGS, 2022). O quadro 30 apresenta as reservas globais de lítio.

Quadro 30
Reservas globais de lítio
(Em toneladas)

País	Toneladas
Chile	9 200 000
Austrália	5 700 000
Argentina	2 200 000
China	1 500 000
Estados Unidos	750 000
Zimbabwe	220 000
Brasil	95 000
Portugal	60 000
Outros ^a	2 700 000
Total	22 425 000

Fonte: Extraído de (USGS, 2022).

^a Áustria, Canada, Congo (Kinshasa), República Tcheca, Finlândia, Alemanha, Mali, México e Sérvia.

Sabe-se que lítio é altamente reativo, tem baixa densidade, baixo coeficiente de expansão térmica, possui alto potencial eletroquímico, além da melhor relação entre peso e capacidade energética dentre todos os elementos químicos. Por essas características, é considerado o metal ideal para a função de cátodo (polo positivo), sendo também utilizado na produção do eletrólito das baterias.

Dadas suas propriedades, o lítio é amplamente utilizado em aplicações nos mercados industriais e de baterias. No mercado industrial, seu maior uso ocorre nos setores de cerâmica e vidro. A adição de carbonato de lítio aos revestimentos de cerâmica e vidro reduz sua expansão térmica, o que muitas vezes é essencial para os modernos fogões de vitrocerâmica (ELEMENTS, 2022). O metal também tem aplicações em graxas lubrificantes; seguido de aplicações para o tratamento de gás e ar (ar-condicionado); na fundição sob pressão; na criação de pigmentos coloridos; automotivo (produção de ligas de alumínio), dentre outras (ALBERMARLE, 2022).

A partir da mineração do lítio, seja de origem de salmouras ou de minerais de rocha dura, são produzidos produtos intermediários que incluem carbonato e hidróxido de lítio, além do lítio em forma metálica. Esses produtos são também utilizados para a produção, em menor volume, de polímeros e produtos farmacêuticos.

O carbonato de lítio [Li_2O_3], obtido em plantas de processamento químico, é um pó branco estável em temperatura ambiente. Um teor mínimo de 98,5% é utilizado em aplicações industriais e baterias, embora concentrados com teor mínimo de 99,5% sejam utilizados somente para baterias, sendo chamado de carbonato de lítio grau bateria.

O lítio também é utilizado no eletrólito e no cátodo de cinco principais tipos de baterias de íons de lítio que, em geral, são categorizadas pela química de seus cátodos, a exemplo de fosfato de ferro lítio (LFP), óxido de alumínio lítio-níquel-cobalto (NCA) e óxido de níquel-manganês-cobalto (NMC). O carbonato de lítio é utilizado nas baterias tipo óxido de cobalto de lítio (LCO) e óxido de manganês de

⁹ É importante ressaltar que há diferenças conceituais entre recurso e reserva em termos de avaliação geológica. O primeiro trata de concentração econômica de um mineral cuja ocorrência, qualidade e volume possui um determinado grau de confiança ao passo que o segundo corresponde à parte do depósito mineral que pode ser tecnicamente, economicamente e legalmente extraída. Ambos se constituem nos principais ativos de uma empresa de mineração.

lítio (LMO); e, o hidróxido de lítio é utilizado na química dos tipos NCA, NMC e LFP. Com exceção da química LFP, todas as demais requerem a produção de um precursor antes da fabricação do cátodo.

O hidróxido de lítio [LiOH.H₂O] é vendido na forma monoidratada. O setor de graxa é, historicamente, o maior consumidor de hidróxido de lítio com teor entre 55% e 56,5%, que também é utilizado para a produção de baterias de íons de lítio.

Quadro 31
Principais elementos da cadeia produtiva de baterias de íons de lítio

Matéria-Prima mineral	Materiais processados quimicamente	Materiais da célula	Células	Pacote da Bateria
Salmoura [brine]	Carbonato de lítio	Precursor		
Minerais de rocha dura [espodumênio e lepidolita]	Hidróxido de lítio Cloreto de lítio	Cátodo Eletrólito		
Partes da célula que não contém lítio ^a				

Fonte: Elaboração própria.

^a Ânodo, separador, aglutinantes e componentes auxiliares que são combinados com o cátodo e o eletrólito para a formação da célula e o pacote da bateria.

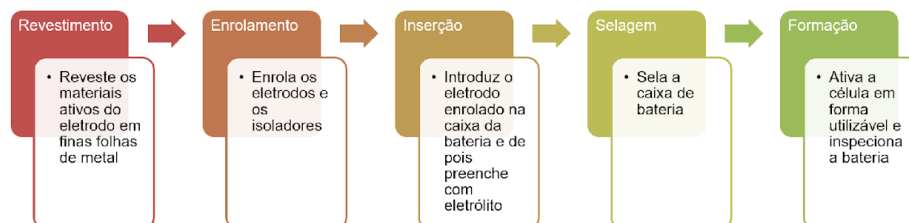
Um precursor é uma mistura de elementos que reagem quimicamente para a formação de composto intermediário. Para a fabricação de um cátodo do tipo químico NCM é preciso misturar os sulfatos de níquel (Ni), cobalto (Co) e manganês (Mn) em uma proporção correta para conversão em hidróxido metálico que, juntamente com o carbonato de lítio, deverá ser calcinado para a produção de óxido de lítio.

Assim, Ni, Co e Mn são as matérias-primas e o hidróxido metálico derivado da mistura deles é o precursor. O óxido de lítio constitui-se no material ativo pronto para ser usado na fabricação do cátodo, cuja montagem da célula ainda envolve o enrolamento de coletores [folhas de alumínio ou cobre] com o material ativo produzido previamente.

A montagem de uma célula envolve quatro principais elementos [cátodo, ânodo, separadores e eletrólito] e demais componentes auxiliares e aglutinantes. O cátodo, ânodo e separadores são montados para formar camadas alternadas unitárias do tipo “cátodo-separador-ânodo”, de modo a permitir o fluxo de íons entre o cátodo e o ânodo por meio da solução eletrolítica.

Segundo Yao e Pecht (2019), o processo de fabricação de baterias de íons de lítio para células cilíndricas consiste em cinco etapas: i) mistura e revestimento dos materiais do eletrodo positivo e do negativo em lâminas finas de metal; ii) enrolamento do eletrodo positivo, do eletrodo negativo e do separador; iii) inserção do pino central da abertura na caixa da bateria e preenchimento com o eletrólito; iv) vedação da caixa da bateria; e v) formação e maturação. A figura 11 apresenta um esquema do processo de manufatura de uma bateria cilíndrica.

Figura 11
Processo de fabricação de células cilíndricas de baterias de íons de lítio



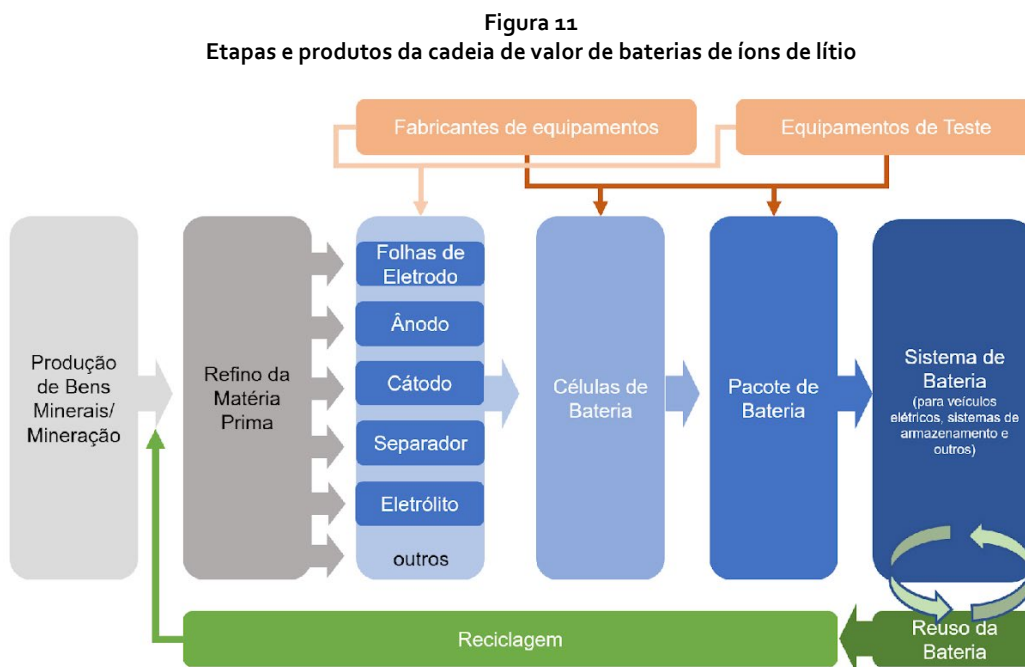
Fonte: Adaptado de (YAO e PECHT, 2019).

Por sua vez, He e Yeh (2021) elaboraram um resumo do processo altamente automatizado e sofisticado da produção de baterias de íons de lítio na CATL (Contemporary Amperex Technology Co. Limited), maior fabricante de baterias do mundo. Em geral, a produção de baterias envolve mais de 50 processos unitários, mas eles identificaram 14 processos-chave que podem ser divididos em três estágios: i) fabricação de eletrodos, ii) fabricação de células, iii) formação e integração.

Apesar do artigo apresentar apenas o detalhamento da fabricação de eletrodos [primeiro estágio], os autores enfatizam que os equipamentos desempenham um papel crítico na determinação do desempenho e do custo das baterias de íons de lítio, envolvendo três categorias:

- i) primeiro estágio (misturador, revestidor, prensa de roletes, divisora, laminadora e máquina de corte e vinco etc.);
- ii) segundo estágio (enrolamento/laminação, injeção de eletrólito, equipamento de embalagem); e,
- iii) terceiro estágio (carga e descarga, equipamento de teste etc.). O custo de capital para cada um desses três estágios representa aproximadamente 40%, 30%, 30% do custo da linha de produção (HE e YEH, 2021).

A figura 11 a seguir apresenta o detalhamento da cadeia de valor para o caso das baterias de íons de lítio, envolvendo matérias primas, componentes intermediários, células, pacote de baterias, equipamentos de produção e de teste, mercados consumidores, oportunidades de reuso e reciclagem das baterias de lítio.



Fonte: Elaboração própria a partir de <https://www.knowmade.com/press-release/news-power/e-mobility-new-eldorado-li-ion-batteries/>.

A partir dessa visão inicial dos recursos, tecnologia e processo de fabricação, a próxima seção vai apresentar dados e informações sobre a estrutura da indústria de baterias de íons de lítio no mundo.

2. Estrutura da indústria de baterias de íons de lítio

Atualmente, os países que lideram a indústria de baterias de íons de lítio são a China (com 62% da capacidade global), Estados Unidos (13%), Japão (12%) e a Coreia do Sul (10%). A ideia de que a China lidera este mercado em função de menores custos de mão-de-obra, maiores reservas e capacidade de processamento de lítio não é determinante, tendo em vista que um dos principais players é uma empresa americana (Albermarle) que controla quase a metade da produção total da China por meio de participação da Talison na operação australiana de Greenbushes (MAYYAS, STEWARD e MANN, 2019).

De acordo com Mayyas, et al. (2019), apesar da Austrália, Chile e Argentina terem desempenho superior ao da China na produção de minério de lítio, ainda não superam a performance da China na fabricação de produtos de maior valor agregado, pois o grau de automatização supera eventuais diferenças no custo da mão-de-obra.

O principal motor do crescimento da indústria de baterias de lítio foi e ainda é o conjunto de políticas públicas de incentivo aos veículos elétricos coordenadas pelo governo chinês, o qual não está sozinho neste tipo de prática. A título de exemplo sobre políticas públicas, é importante citar o American Recovery and Reinvestment Act of 2009, por meio do qual o Departamento de Energia dos EUA alocou US\$ 2,4 bilhões para aumento da capacidade de fabricação naquele país em baterias e componentes, bem como para o desenvolvimento de veículos elétricos.

O valor agregado ao longo da cadeia de valor do ponto de vista microeconômico e, independentemente do efeito de políticas públicas, pode ser explicado em termos do custo do trabalho, materiais, energia, grau de integração vertical, fabricação e logística. Além disso, aspectos da demanda por veículos elétricos em determinados mercados e da oferta de matéria-prima também devem ser considerados. Assim, enquanto a extração primária está localizada em países com melhor dotação de recursos minerais, a produção de células e baterias está concentrada nas regiões que produzem mais veículos elétricos e precisam atender os requisitos técnicos de cada OEM em particular (MAYYAS, STEWARD e MANN, 2019).

Junto com o lítio, cobalto, manganês, grafite e níquel são os cinco minerais críticos para a fabricação dos componentes das baterias de íons de lítio. Nesse sentido, a BloombergNEF elaborou um ranking dos 25 principais países para o segmento, a partir dos seguintes critérios:

- i) dotação de recursos minerais, capacidade de mineração, de refino em 2020, além de estimativa até 2025 para os cinco minerais críticos para cada país;
- ii) categorização dos países em cinco faixas de acordo com pontuação de 1 a 6 de acordo com os critérios prévios; e,
- iii) pontuação geral como resultado da média das pontuações nas cinco categorias para cada país.

Como seria de se esperar, o controle de mais de 80% da capacidade global de refino de matéria-prima de lítio e principal produtor mundial de grafite coloca a China no primeiro lugar do ranking. Já a Austrália ocupa o segundo posto em função da sua grande capacidade de produção primária de lítio e amplas reservas de níquel. O Brasil, apesar de não registrar ainda uma produção significativa de lítio em grau bateria, ocupa o terceiro posto do ranking, pois está entre os 10 maiores produtores mundiais de grafite, níquel, manganês e lítio.

Suécia, Argentina e Japão deverão ascender neste ranking, respectivamente, em função da ampliação de diversos projetos de mineração de níquel e grafite no pipeline; posse de grandes recursos de lítio e vários projetos de mineração em estágio avançado; e, instalação de uma primeira planta de refino de hidróxido de lítio no período, além da duplicação da produção de lítio metálico pela Sumitomo até 2028.

Embora as matérias-primas necessárias para produzir lítio sejam abundantes em todo o mundo, o desafio para os produtores de lítio é conseguir e manter uma extração lucrativa. Avançar para os

próximos elos da cadeia requer capacidade corporativa e disposição para ocupar o espaço de negócios de clientes na qualidade de concorrente.

Observa-se que as matérias-primas (para cátodo, ânodo e eletrólito) representam 12% do custo total da bateria, com cerca de 35% do valor agregado originado dos eletrodos e outros materiais processados. A fabricação de células contribui para 35% do custo total e o custo das peças e a montagem das baterias representam outros 18% do valor total da bateria pronta para uso. Estima-se que a reciclagem de materiais possa reduzir o custo total das baterias de íons de lítio em até 20%.

O valor da produção por país ao longo da cadeia de valor de baterias de íons de lítio está distribuído da seguinte forma:

- Lítio como matéria-prima: predomínio da Austrália (53%); Chile (23%); China (13%) - (IEA, 2022);
- Processamento químico (sob a forma de carbonato e hidróxido de lítio)—predomínio da China (58%); Chile (29%); Argentina (10%)— (IEA, 2022);
- Eletroquímica —predomínio da China (75%); Coréia do Sul (10%); Japão (10%)— (FUTURE SMART STRATEGIES, 2018);
- Células —predomínio da China (50%), Coréia do Sul (20%) e Japão (20%)— (FUTURE SMART STRATEGIES, 2018);
- Montagem de baterias —predomínio do Japão (53%), China (20%) e Coréia do Sul (14%)— (FUTURE SMART STRATEGIES, 2018).

Observa-se que a produção do lítio como matéria-prima é amplamente dominada pelos produtores australianos, chilenos, chineses e argentinos. Para 2025, espera-se um crescimento ainda maior da participação da China (cerca de 23%) em detrimento da redução da participação dos produtores dos demais países.

O Chile destaca-se na venda de compostos processados de lítio, como hidróxido e carbonato de lítio. A SQM, em 2021, afirma ter vendido para cerca de 43 países e quase 240 clientes, mas o mercado asiático respondeu por quase 90% das compras da empresa (SQM, 2022). A outra empresa atuando no mercado chileno também exporta compostos processados a partir da sua planta do projeto La Negra, no Salar do Atacama (ALBEMARLE, 2022).

A partir da produção de eletroquímicos [onde se encontra a produção dos precursores] até as baterias, o predomínio se desloca todo para a Ásia, principalmente para China, Japão e Coréia do Sul. Estes países e as empresas atuando na região é que se apropriam do valor mais significativo da cadeia de baterias.

Uma outra forma de observar a apropriação de valor ao longo da cadeia de valor das baterias de íons de lítio pode ser observado a partir da diferença de preços entre os produtos do processamento químico em relação aos preços dos concentrados de lítio produzido pela mineração.

Diferentemente dos preços de outros bens minerais ou metais cotados em bolsas de mercadorias, a divulgação dos preços de produtos de lítio não é muito transparente. Em função disso, por meio de uma licitação pública de 2018 (FASTMARKETS, 2022), a London Metal Exchange [LME] fez uma parceria com a agência de relatórios de preços Fastmarkets para desenvolver os preços de referência para o mercado de lítio (LME, 2022).

Em linha com o desafio de estabelecer um preço internacional de referência para produtos de lítio, o principal analista da Fastmarkets busca responder quais os preços dos produtos de lítio que melhor refletem as condições do mercado e avalia o papel a ser desempenhado pelo valor dos preços à vista [spot prices] (HANNAH, 2021). Ele ressalta que é preciso reconhecer que o lítio é uma especialidade química e que a aplicação em baterias é um processo químico intrincado, cujos requisitos de qualidade

para usos específicos limitam possibilidade de blendagem¹⁰ de diferentes lotes, mas chama atenção para o fato de que a dinâmica do mercado à vista na China mostra que os preços de diferentes qualidades e tipos de produtos de lítio estão fortemente correlacionados.

Independentemente de que ocorra uma padronização dos preços dos produtos de lítio no futuro [concentrados de espodumênio ou especialidades químicas de lítio], é importante perceber a diferença significativa entre os produtos da mineração quando comparado com produtos processados quimicamente. Ou seja, em condições pré-crise da Covid-19, o patamar de preços do primeiro dificilmente alcançava a casa de milhar enquanto os dos segundos já atingiram a casa de centenas de milhar de dólares por tonelada.

A questão dos preços das matérias primas minerais e de especialidades químicas e, conseqüentemente, das baterias de íons de lítio, está cada vez mais fortemente associada com o mercado de veículos elétricos. Além da crise da Covid-19, por um lado, a queda dos preços observada desde 2017, pode ter impactado na decisão por abertura de novas minas e, por outro, a política de incentivo à demanda por veículos elétricos durante a crise resultou num crescimento de 200% nos primeiros nove meses de 2021 na China e, na primeira metade do ano de 2021, 168% na União Europeia e cerca de 100% na América do Norte [Estados Unidos e Canadá] (ADAMS e BENNETT, 2021).

Restrições às viagens internacionais de técnicos e engenheiros foram elementos chaves que dificultaram expansões e adições de capacidade planejadas nos últimos 3 anos, resultando no aumento dos preços à vista do espodumênio em mais de 500% [US\$2.250/ton] quando considerado o preço do fim do ano de 2020 na China [US\$ 375/ton].

Dados mais recentes da Fastmarkets apontam que os preços do espodumênio, com 6% LizO, estavam sendo comercializados na Ásia, em 28/04/22, por valores entre US\$ 5.750/ton até US\$ 6.300/ton. Com esta valorização, a expectativa é que novas operações de mineração entrem em operação em 2022 e nos próximos anos e possam minimizar o atual estrangulamento na oferta, apesar do tempo que será necessário para adequar o ritmo da produção.

Do ponto de vista dos produtos processados, o mercado de lítio durante o ano de 2021 passou de um estágio de excesso de estoques de matérias-primas para uma situação em que não havia sequer material de reposição. Nesse contexto, os preços do hidróxido de lítio monohidratado grau bateria, com base CIF para China, Japão e Coréia, mais do que dobrou em relação aos do fim do ano de 2020.

A partir do conjunto de dados e informações que se apresentou sobre a estrutura e a dinâmica da indústria de baterias de íons de lítio no mundo, na próxima seção vamos conhecer mais sobre as principais tendências do mercado em curto e médio prazo.

3. Tendências no mercado de baterias de íons de lítio

Sabe-se que, dentre as diversas tecnologias de sistemas de armazenamento de energia, a tecnologia de baterias de íons de lítio está posicionada para atender uma demanda crescente de importantes setores econômicos com faturamento da ordem de bilhões de dólares: i) eletrônica de consumo, ii) automotivo e iii) setor elétrico.

Há consenso que o crescimento do setor de eletrônica de consumo - que permitiu avanços tecnológicos, ampliação de escala e a redução contínua dos custos das baterias - contribuiu muito para viabilizar a aplicação da tecnologia de baterias de íons de lítio em veículos elétricos, mas com o passar do tempo, há evidências que o setor passa a ter menor importância como consumidor de baterias.

A tecnologia de íons de lítio está posicionada para atender diversas aplicações, mas com destaque para três principais segmentos: eletrônica de consumo (celulares, tablets etc.), veículos

¹⁰ Termo técnico utilizado nas indústrias de mineração e de química que representa um processo de misturar e combinar produtos similares para ajustes no teor de um elemento ou composto químico para determinada aplicação.

elétricos e armazenamento estacionário de energia. Com 43% das vendas no ano de 2016, as aplicações para veículos elétricos ultrapassaram pela primeira vez o mercado pioneiro de eletrônica de consumo que respondeu por cerca de 40% (AVICENNE, 2017).

De acordo com a consultoria Avicenne Energy (2022), no mercado global de sistemas de armazenamento, da ordem de US\$ 108 bilhões em 2021, a tecnologia de baterias chumbo ácido e de íons de lítio atingiram, pela primeira vez, uma participação de 50/50 em termos de volume (mais de 800 GWh/ano).

O valor total das vendas de baterias chumbo ácido é da ordem de US\$ 38 bilhões ao passo que no caso das baterias de íons de lítio esse valor é da ordem de US\$ 74 bilhões e, ainda, representou o maior crescimento em volume¹¹ e a maior parte dos investimentos¹² realizados e em curso no mercado de sistemas de armazenamento (AVICENNE ENERGY, 2022).

Em médio prazo, até 2030, espera-se que o mercado de baterias de íons de lítio tenha um crescimento anual da ordem de 18% a.a. entre 2020 e 2030 em volume, de acordo com estimativas da Avicenne Energy (2022). As baterias de íons de lítio são a tecnologia dominante até 2030 e espera-se que outras tecnologias estejam disponíveis a partir do início desta década, mas sempre com o elemento lítio na sua composição. Nesse sentido, a bateria de íons de lítio está posicionada como a principal escolha tecnológica para os veículos elétricos desta década (2020/2030), tendo em vista que as demais tecnologias concorrentes ainda se encontram num nível de prontidão tecnológica mais baixo, além de capacidade instalada de produção não comparável (IEA-OECD, 2018).

De acordo com a Wood Mackenzie (2022), em 2021, a China foi responsável por 90% da fabricação mundial de baterias. Para o fim da década, estima-se que a região da Ásia do Pacífico reduza sua participação para 69%, com um crescimento da produção da Europa que poderá atingir cerca de 20% até 2030 e poderá ultrapassar a capacidade América do Norte.

A Benchmark Mineral Intelligence APUD (COLTHORPE, 2022), calculou que a Europa está no caminho certo para 27 gigafábricas de 18 produtores diferentes até 2030, representando 789,2 GWh de capacidade, uma participação que representa até agora cerca de 4% do mercado global (ENERGY STORAGE, 2022).

Os 15 maiores fabricantes de baterias de íons de lítio, por exemplo, promoveram a inserção de cerca de 200 GWh em 2021, resultando numa capacidade acumulada de quase 600 GWh e com a perspectiva de inserção de outros 3.000 GWh que se encontram em fase de planejamento ou construção.

Somente a CATL, líder do mercado mundial, poderá atingir cerca de 800 GWh até 2030, além de outros fabricantes chineses de baterias [SVOLT, CALB e Gotion High-Tech] que também trabalham com metas bastante ambiciosas de inserção de capacidade nova para 2025.

Sabe-se que o crescimento das vendas de veículos elétricos deverá provocar uma elevada demanda sobre diversos minerais críticos. Segundo a IEA (2022), a demanda geral de bens minerais para veículos elétricos, no cenário de desenvolvimento sustentável [SDS], deverá crescer quase 30 vezes entre 2020 e 2040, com a demanda de lítio e níquel crescendo cerca de 40 vezes!

Nesse sentido, em termos da química do cátodo, na visão de especialistas, a tecnologia do cátodo que deverá predominar o mercado global em médio prazo, ou seja, até 2030 deverá ser a LFP, pois já é possível observar o crescimento deste tipo de bateria em detrimento da perda de mercado das baterias tipo NCM (WOOD MACKENZIE, 2022).

Análise do mercado de materiais para o ano de 2022 por Adams e Bennett (2021) aponta que as baterias do tipo NCM estão numa encruzilhada, pois os preços do hidróxido de cobalto tiveram um crescimento de mais de 70% em relação à 2020 [US\$ 26,45/libra], além das dificuldades logísticas

¹¹ CAGR de 29% no período de 2010-2021.

¹² CAGR de 12% para o período de 2016-2021.

associadas com a pandemia do Covid-19. Nesse contexto, foi observado uma crescente participação da química LFP, principalmente na China (ADAMS e BENNETT, 2021) APUD CABIA e Fastmarkets).

Até 2021, a química NCM ainda representava a metade da fatia de mercado, mas as baterias LFP passaram a ampliar sua fatia de mercado pela sua competitividade de custo, longo ciclo de vida e alto desempenho em segurança. A Wood Mackenzie estima que a participação de mercado da LFP ultrapassará a NCM em 2028.

Nota técnica elaborada por Gielen (2021) para a IRENA vai na mesma direção, pois a mudança para a química LFP poderá reduzir a necessidade de uso de materiais críticos e mais caros. Atualmente, os metais catódicos representam de 30% a 45% dos custos totais de materiais da bateria, dependendo do tipo de composição em consideração. Nesse contexto, ainda há a possibilidade de uso de lítio metálico como ânodo em substituição ao grafite em baterias de estado sólido e eliminando a demanda por cobre e alumínio, apesar das perspectivas ainda incertas para baterias com esta tecnologia.

Quando o preço médio das baterias atingir os 100 USD/kWh almejados pela indústria, haverá também uma pressão para minimizar a dependência dos preços voláteis do cobalto que influenciou a redução contínua desse mineral e o aumento do percentual de níquel nas tradicionais baterias do tipo NCM. Esse aspecto é também um fator que contribui para o aumento da participação do cátodo LFP (amplamente difundida na China) ao mesmo tempo em que reduz a demanda por níquel e cobalto.

Enfim, a complexidade técnica e as diversas etapas da cadeia de valor requerem um processo de cooperação e, ao mesmo tempo, criam um ambiente competitivo em escala global que envolve fornecedores de matéria-prima, processamento químico, materiais e componentes avançados, fabricantes de células, integradores de baterias e até os mercados de consumo industrial.

Exemplo disso são movimentos de integração vertical entre fornecedores de matéria prima mineral e a indústria de processamento químico de lítio e movimentos que visam a integração para trás (mineração, processamento químico e manufatura de células) na busca de garantia de suprimento e da qualidade, principalmente por parte grandes conglomerados industriais e montadoras [OEM], seja por investimento direto, por participações acionárias, acordos preferenciais de compras, de produção e comercialização ou por redirecionamento de áreas de negócios.

Por outro, esse novo mercado de eletromobilidade tem fomentado o desenvolvimento de políticas públicas em diversas regiões e países que buscam ampliar o valor agregado nas suas respectivas economias, como o caso do Chile na atração de empresas para investimentos para a produção de materiais ativos para cátodo e lítio metálico (INVESTCHILE, 2017), além da elaboração de diversos estudos e programas sobre as oportunidades nesta cadeia de valor, como os casos da Argentina (CASTELLO e KLOSTER, 2015), Austrália (BEST e VERNON, 2020)¹³, Coreia do Sul, Japão, Estados Unidos (CHUNG, ELGQVIST e SANTHANAGOPALAN, 2015) e União Europeia (BOON-BRETT, LEBEDEVA e PERSIO, 2017); (EU, 2021)¹⁴.

Dentre todos os países do mundo, contudo, a China está mais bem posicionada para capturar mais valor na cadeia de valor de baterias de íons de lítio a partir de políticas públicas que buscam se aproveitar do tamanho do seu próprio mercado doméstico de veículos elétricos e das oportunidades de exportação tanto de veículos elétricos como de células e baterias.

De acordo com as conclusões de LaRocca (2020) —em estudo interno da Comissão de Comércio Internacional dos Estados Unidos (USITC)— a China tem sido o principal destino de matérias-primas da Austrália e do Chile, tendo um papel predominante nos processos de processamento e refino que

¹³ Esta mais recente publicação australiana lista os 8 estudos sobre baterias de íons de lítio que o precederam entre os anos de 2015 e 2019, o que demonstra o interesse que o tema desperta nos setores público e privado daquele país.

¹⁴ Refere-se ao programa "European Battery Innovation" que reúne 12 Estados-Membros e que alocará quase 3 bilhões de euros em financiamento em inovação para os próximos anos nesta cadeia de valor.

antecedem a produção de células e a montagem de baterias. Apesar de não ter uma grande dotação natural de recursos minerais de lítio, a China está capturando a maior parte do valor agregado global para a produção de células e baterias. Em 2019, ela exportou US\$ 13 bilhões para mercados como Estados Unidos, Alemanha, Coreia do Sul, Índia e Vietnã. Com apoio do mercado chinês, as empresas chinesas também estão comprando posições acionárias de produtores globais de matérias-primas para garantir um fornecimento estável de lítio para suas indústrias a montante da cadeia (LARocca, 2020).

É nesse sentido que se pode afirmar que o desenvolvimento do mercado de veículos tem sido dirigido por políticas públicas, de modo que China e Noruega possuem as políticas mais efetivas. Respectivamente, a China é o principal mercado em termos de volume de vendas de veículos elétricos, ao passo que a Noruega possui a maior participação nas vendas de veículos elétricos em relação ao total das vendas de novos veículos. O desenvolvimento das infraestruturas acessíveis de carregamento públicas e privadas também tem sido amplamente apoiadas por políticas públicas (IEA, 2022).

Ao longo da última década, o mercado de veículos elétricos cresceu rapidamente, com a participação do mercado global subindo de 0,01% em 2010 para 8,6% em 2021. Isto teve um efeito de ondulação na demanda por baterias, que agora representam quase três quartos do consumo mundial de lítio.

A questão de que trata a próxima seção diz respeito aos movimentos que estão acontecendo no Brasil em termos da oferta e da demanda de baterias e veículos elétricos, assim como as oportunidades para a criação de uma cadeia de fornecimento de baterias para ônibus elétricos.

B. Os indícios da formação de uma cadeia de valor de baterias de íons de lítio no Brasil

Na média, entre 2016 e 2019, o setor empregou quase 8 mil pessoas, produziu mais de 27 milhões de unidades de baterias do tipo chumbo ácido¹⁵ e obteve um faturamento anual da ordem de R\$ 2,5 bilhões (IBGE, 2020a). Cerca de 97% desse faturamento é originado dos fabricantes de baterias, que representam 37 empresas (IBGE, 2020). A produção nacional está localizada principalmente nos estados de São Paulo, Paraná e Pernambuco (CASTRO, 2013).

Em 2022, o Brasil demonstrou mais de 50 empresas com mais de 30 empregados atuando no mercado de baterias e acumuladores para veículos automotores, dentre fabricantes de baterias, partes e peças, e de serviços industriais associados (IBGE, 2020a).

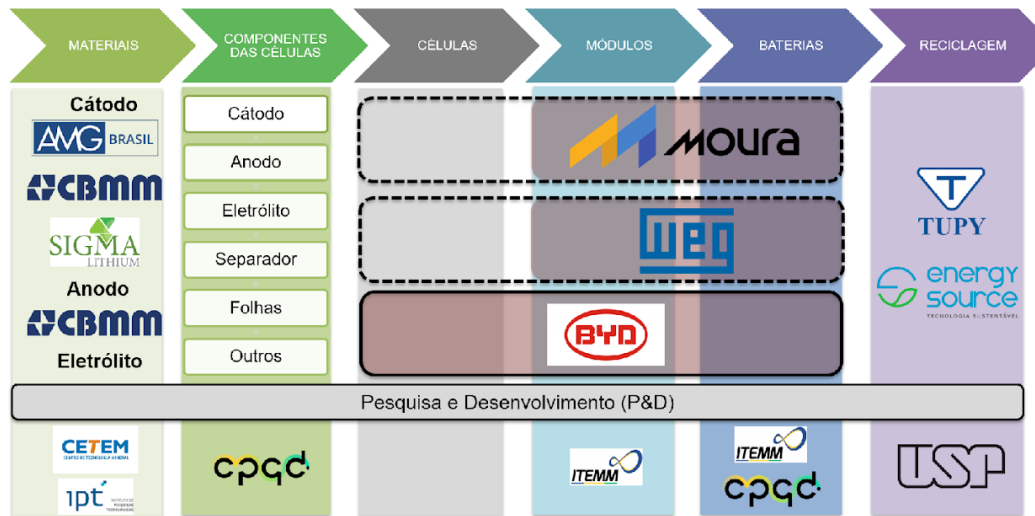
O Brasil possui uma indústria bem estabelecida para a produção de baterias de chumbo ácido, mas já se observa o surgimento de iniciativas de pesquisa e desenvolvimento em instituições de pesquisa, por um lado, e de projetos cooperativos entre empresas para a formação do que se poderia chamar de uma cadeia de valor nacional de baterias de íons de lítio, por outro (figura 12).

De acordo com Cruz (2020), o setor de baterias para veículos automotores no país, dentre as autopeças, é majoritariamente formado por empresas de capital nacional, representando 75% do mercado. A produção, concentrada na fabricação de baterias de chumbo ácido, é destinada principalmente para os mercados de OEMs e reposição, respectivamente, com participação média de 24% e 76% (CASTRO, 2013). O Apêndice apresenta dados dos principais fabricantes de baterias automotivas instalados no Brasil.

Nas próximas seções serão apresentadas as organizações públicas e privadas que estão atuando em atividades de P&D, produtivas e comerciais relacionadas com a produção de materiais, de bens intermediários, módulos e baterias de íons de lítio, bem como uma incipiente indústria de reciclagem no Brasil.

¹⁵ Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE): 2722.2010 Baterias ou acumuladores elétricos para veículos (Mil unidades).

Figura 12
Cadeia de valor de baterias de íons de lítio no Brasil



Fonte: Elaboração própria.

1. Pesquisa, desenvolvimento e inovação

No âmbito das instituições públicas de ciência e tecnologia, o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) têm um histórico de P&D na área de materiais, especialmente no que se refere ao beneficiamento de minerais que se constituem nas principais matérias primas para este tipo de tecnologia, como o lítio, níquel, cobalto e terras raras. Recentemente a Universidade Estadual de São Paulo (USP), deu início a uma parceria com a Fundação Tupy para o desenvolvimento de esforços de P&D na área de reciclagem de baterias.

Outros dois importantes centros privados também estão envolvidos com P&D&I na área de acumuladores de energia: o Instituto Edson Mororó Moura (ITEEM) e o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD). O ITEEM tem desenvolvido papel relevante na pesquisa, desenvolvimento e inovação em acumuladores de energia, somando competências na aplicação de células em módulos e no projeto do pacote de bateria.

A seguir serão apresentadas estas organizações, sua trajetória e contribuições específicas para a formação de uma cadeia de valor de baterias de íons de lítio no país, começando pelas organizações públicas.

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

O CETEM, autarquia ligada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) liderou a organização e a realização de três (3) seminários nacionais sobre o lítio, com o primeiro sendo realizado em 2014, 2016 (CETEM, 2016) e 2018 (CETEM, 2018). Está prevista a realização do IV Seminário Lítio Brasil no fim do ano de 2022, de acordo com informação de dirigente da organização.

Em 2018, onde se observou um grande avanço técnico-institucional na discussão sobre o tema entre representantes dos setores público e privado, a comissão organizadora do seminário, além do CETEM, também foi constituída por representantes do MCTIC¹⁶, Ministério de Minas e Energia (MME) e Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

¹⁶ À época a pasta abrangia também assuntos da "Comunicação".

Quadro 32
Características do centro de P&D público - CETEM

Elos da cadeia:	P&D-Material > Materiais-Diversos		
Empresa:	CETEM		
Site da empresa:	https://www.gov.br/cetem/pt-br		
Tipo de organização:	Centro de pesquisa público		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Centro de pesquisa	Região:	Sudeste
Localidade:	Rio de Janeiro	Estado:	RH

Fonte: Elaboração própria a partir de CETEM (2022), ver em: <https://www.gov.br/cetem/pt-br>.

A programação do III Seminário Lítio Brasil contou com palestrantes de diferentes áreas de atuação, os quais trouxeram sua visão e suas contribuições aos temas tratados no evento, a saber:

- Pesquisa mineral, recursos, reservas e tecnologias associadas:
 - Avaliação do Potencial do Lítio no Brasil: Ações, Principais Resultados, Perspectivas Atuais e Futuras - Serviço Geológico do Brasil – CPRM
 - Recursos e Reservas de Lítio (Nacional e Internacional) – ANM
 - Uma Revisão da Metalurgia Extrativa do Lítio – CETEM
- Novos Projetos de Lítio:
 - Projeto de Lítio da Sigma Mineração (Araçuaí, MG) - Sigma Mineração
 - Projeto Lítio da AMG e sua Planta de Concentração de Espodumênio - AMG Mineração
 - Investimentos para Integração da Cadeia de Lítio no Brasil - da Mina à Mobilidade Elétrica – CODEMIG
- Baterias de Íon-Li (I):
 - Lithium, Batteries and xEVs - Roskill's Views of International Markets and Prices - Roskill
 - Baterias de Íon-Lítio - Estado da arte – CPqD
 - Baterias de Íon Lítio - Perspectivas e Mercado – CPqD
- Baterias de Íon-Li (II):
 - Tecnologias de Baterias de Lítio utilizadas em Sistemas Fotovoltaicos - Tendências e Perspectivas - CEPEL
 - Baterias de íons de Lítio - Perspectivas e Desafios - Baterias Moura
 - A Bateria de Ferro-Lítio e suas Aplicações: mobilidade elétrica e armazenamento (Energy Storage Systems) – BYD
- Aspectos da Cadeia Produtiva do Lítio:
 - Desafios para a Produção Sustentável do Lítio no Brasil - CETEM
 - Atuação do MCTIC em PD&I para Minerais Estratégicos (Lítio) - DETEC/SETEC/MCTIC
 - Aspectos Regulatórios do Comércio de Lítio e seus Derivados - CNEN
 - Oportunidades de Financiamento para a Cadeia do Lítio – BNDES
- Ações para Consolidação do Lítio Nacional:
 - Integração da Cadeia Produtiva do Lítio – ABDI
 - Plenária: Encaminhamentos para Estruturação da Cadeia Produtiva do Lítio
 - Encerramento do III Seminário sobre Lítio-Brasil

O último painel deste seminário apresentou uma síntese e uma proposta de roadmap estratégico para a estruturação da cadeia de valor de baterias de íons de lítio no Brasil, considerando i) pontos-chaves da cadeia global de baterias; ii) oportunidades ao longo da cadeia de suprimentos; iii) valor agregado do produto; iv) emergência de estratégias nacionais e dos fabricantes OEM; e, por fim, v) necessidade da elaboração coordenada entre setores público e privado de uma estratégia para o Brasil, considerando a proposição de políticas públicas para endereçar a P&D&I e o investimento privado para o preenchimento de lacunas produtivas na cadeia de valor nacional (BOEIRA, 2018).

Para os próximos anos, o CETEM deverá receber cerca de R\$ 1,3 milhões para execução do projeto "Processos para compostos de Lítio, Níquel e Cobalto, essenciais para energia e mobilidade" após receber aprovação da sua proposta do projeto pela comissão técnica de chamada pública MCTI/FINEP/Ação Transversal - Materiais Avançados e Minerais estratégicos 2020¹⁷.

Nesta mesma chamada, outros dois centros de P&D foram contemplados com recursos para execução de pesquisas sobre lítio. A Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) receberá cerca de R\$ 2 milhões para um estudo sobre a "Cadeia produtiva do Lítio: sustentabilidade econômica e ambiental"; e, ainda a Universidade Federal de Viçosa (UFV), com recursos de quase R\$ 1,7 milhões, que deverá executar o projeto "Desenvolvimento de materiais avançados de alta performance para baterias de íons lítio". Considerando os três projetos, serão alocados cerca de R\$ 4,9 milhões em centros de P&D para projetos com Lítio nos próximos dois a três anos no país.

CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações

Com mais de 40 anos em operação, o CPQD se destaca como um dos principais centros de inovação em Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) da América Latina. Sua base tecnológica contempla temas que endereçam demandas atuais de mercado, incluindo aplicações para mobilidade elétrica, bem como de temas prospectivos (futuras transições tecnológicas).

Quadro 33
Características do centro de P&D público

Elos da cadeia:	P&D-Eletrônica/P&D-Integração [Battery Management System (Sistema de Gerenciamento de Bateria) +Bateria]		
Empresa:	CPQD		
Site da empresa:	https://www.cpqd.com.br		
Tipo de organização:	Centro de pesquisa privado		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Centro de pesquisa	Região:	Sudeste
Localidade:	Campinas	Estado:	SP

Fonte: Elaboração própria a partir de CPQD (2022).

O CPqD é uma unidade credenciada da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) para diversas áreas, dentre elas mobilidade elétrica, cujos projetos podem se beneficiar de recursos combinados com outros mecanismos de fomento e de iniciativas setoriais vigentes que permitem que o aporte de recursos não reembolsáveis chegue a 50% do valor do desenvolvimento realizado pelo CPqD (CPQD, 2022).

O CPqD, de acordo com pesquisador da instituição, vem trabalhando com projetos de engenharia de aplicação para sistemas de mobilidade elétrica, mas a maior ênfase nos últimos dois anos tem sido em projetos de mercados mais maduros, como os sistemas de armazenamento de aplicações em

¹⁷ http://www.finep.gov.br/images/chamadas-publicas/2021/24_05_2021_MatMin_ResultadoFinal_Publicacao-TOTAL.pdf.

telecomunicações de redes de alta frequência alto e com menor distância de propagação, em especial para as estações de transmissão de 5G, além de projetos no setor elétrico, em parceria com a empresa PHB. A ICT também tem trabalhado em aplicações para a Marelli no setor automotivo e em negociações com non-disclosure agreements (NDA) (acordo de confidencialidade, tradução nossa) com empresas. Tal informação está bastante coerente com dados e informações do último relatório anual da empresa, no qual não há quase nenhuma menção e destaque para projetos para baterias de íons de lítio para veículos elétricos (CPQD, 2021).

A organização afirma que tem trabalhado em projetos sob encomenda em tecnologias e soluções para bateria (customização por aplicação, tipo bateria/seleção de células) e gestão de baterias, por meio do desenvolvimento de algoritmos de estado de carga e saúde, balanceamento de energia entre células e elementos; além de esforços para o desenvolvimento de Battery Management System (Sistema de Gerenciamento de Bateria) (CPQD, 2022).

Sabe-se que o CPqD atua com soluções para diferentes setores que vão desde o agronegócio até a área de serviços em finanças e telecomunicações. É um dos principais ICTS privados para a área de TICs no Brasil e possui grupos de pesquisa e engenharia bastante reconhecidos para aplicações, como testes e homologações em baterias, apesar da baixa atividade observada nos dois últimos anos.

ISI-Eletroquímica - Instituto Senai de Inovação em Eletroquímica

Criado em 2013, o Instituto Senai de Inovação em Eletroquímica (ISI Eletroquímica é uma instituição privada e sem fins lucrativos do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) e faz parte da rede de Unidades EMBRAPII. O ISI Eletroquímica executa pesquisa aplicada e pré-competitiva para aplicações estratégicas nesta área e é credenciado pela EMBRAPII para atendimento nas áreas de Baterias, Revestimentos Inteligentes e Sensores Eletroquímicos com foco principal em Eletroquímica Industrial.

Dentre os projetos com a EMBRAPII, destaca-se o projeto em parceria com a CBMM para o desenvolvimento de baterias de estado sólido com tecnologia nacional, além do projeto setorial no âmbito do Programa Rota 2030 que trata de soluções inovadoras para geração e armazenamento de energia, focada nos desenvolvimentos de componentes para sistemas de armazenamento tracionário e estacionário (baterias de segunda vida), além de células a combustível.

Quadro 34
Características do centro de P&D público - ISI Eletroquímica

Elos da cadeia:	Componente-Catodo / Reciclagem		
Empresa:	ISI Eletroquímica		
Site da empresa:	https://www.senaipr.org.br/tecnologiaeinovacao/nossarede/eletroquimica/		
Tipo de organização:	Centro de pesquisa privado		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Centro de pesquisa	Região:	Sul
Localidade:	Curitiba	Estado:	PR

Fonte: Elaboração própria com base em ISI Eletroquímica (2022).

Em relação à pesquisa e desenvolvimento em baterias de íons de lítio, cabe destacar o projeto em parceria com a Fundação Tupy e a BMW Group Brasil, no qual se busca desenvolver processo de reciclagem das células das baterias de íon-lítio dos veículos da BMW. O objetivo superior do projeto a ressíntese do material ativo do cátodo de uma bateria de modo a reciclar 100% desse material que é um precursor da manufatura das células. O investimento previsto para o projeto é da ordem de R\$ 3,4 milhões (TUPY, 2022).

ITEMM - Instituto de Tecnologia Edson Mororó Moura

Desde 2012 o grupo Moura mantém parceria com o Instituto de Tecnologia Edson Mororó Moura (ITEMM), único instituto de ciência e tecnologia especializado em acumuladores de energia, localizado no Nordeste do Brasil. A parceria promove o desenvolvimento em eletrificação veicular e sistemas acumuladores de energia renovável, dentre outras alternativas.

A empresa possui duas unidades dedicadas à pesquisa e desenvolvimento, 5 laboratórios e 35 pesquisadores atuando na área. Com investimentos de mais de R\$ 3 milhões, a estrutura de testes para baterias de íons de lítio possui 4 câmaras com módulos dedicados e mais de 200 circuitos de teste adicionais. O ITEMME possui um dos maiores laboratórios de ensaios elétricos de baterias do hemisfério Sul e desenvolve projetos para empresas nacionais e multinacionais dos setores automotivo, fabricação de baterias, geração e distribuição de energia.

Quadro 35
Características do centro de P&D ITEMME

Elos da cadeia:	P&D-Módulo > P&D-Integração [Battery Management System (Sistema de Gerenciamento de Bateria) +Bateria] > P&D-Pacote		
Empresa:	ITEMME		
Site da empresa:	https://www.itemm.org.br		
Tipo de organização:	Centro de pesquisa privado		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Centro de pesquisa	Região:	Nordeste
Localidade:	Belo Jardim	Estado:	PE

Fonte: Elaboração própria com base em ITEMME (2022).

O ITEMME pesquisa, desenvolve e viabiliza soluções tecnológicas em i) armazenamento de energia (Battery Energy Storage Systems-BESS), projetos de P&D, eficiência energética & consultoria; ii) eletrificação veicular por meio de soluções para as baterias dos veículos elétricos; e iii) sistemas de Internet das Coisas (IoT) por meio da criação de dispositivos interconectados para coleta e processamento de informação de operações.

Além de ter o Grupo Moura como principal mantenedor e cliente, o ITEMME possui acordo de cooperação técnica com a Escola Politécnica (POLI) e o Instituto de Inovação Tecnológica (IIT) da Universidade de Pernambuco (UPE), por meio da qual será possível o uso compartilhado de laboratórios multiusuários e suporte às atividades de ensino como trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses de doutorado (ITEMME, 2021).

Uma das pesquisadoras da organização é a coordenadora de Comissão vinculada ao Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (COBEI), que é o braço da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) responsável pela normatização técnica do setor eletroeletrônico.

Poli-USP - Escola Politécnica de Engenharia da Universidade de São Paulo

A Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli) da USP tem mais de 100 anos. Fundada em 1893, a chamada Escola Politécnica de São Paulo foi incorporada à USP em 1934 e, atualmente, é uma referência nacional e considerada uma das mais importantes faculdades de Engenharia da América Latina.

A Poli-USP dá início a sua inserção na cadeia de valor de baterias de íons de lítio por meio de parceria inédita para o desenvolvimento de pesquisa em reciclagem de baterias de lítio. Com um investimento inicial de R\$ 4 milhões, serão alocados inicialmente 15 pesquisadores ao projeto e, ao longo dos dois anos previstos para a pesquisa, um total de até 20 profissionais poderão estar envolvidos. Tal iniciativa será muito importante para a criação e formação de futuros profissionais e pesquisadores

em assuntos relacionados com reciclagem de baterias por processos menos intensivos em energia e com menor emissão de GEE, além da possibilidade de recuperação de materiais ativos para a manufatura de células de baterias de íons de lítio (POLI-USP, 2021).

Quadro 36
Características do centro de P&D da Poli-USP

Elos da cadeia:	Reciclagem / NA / NA		
Empresa:	Poli-USP		
Site da empresa:	https://www.poli.usp.br		
Tipo de organização:	Centro de pesquisa público		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Centro de pesquisa	Região:	Sudeste
Localidade:	São Paulo	Estado:	SP

Fonte: Elaboração própria com base em POLI-USP (2022).

Apesar da crescente importância do lítio no mundo, o país não foi bem-sucedido em criar uma iniciativa estruturada para, em parceria com o Estado e o setor privado, criar uma estratégia de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a cadeia de baterias de íons de lítio, apesar do esforço pioneiro em criar a Rede PTD de Lítio, que buscou mobilizar diversas universidades, centros de pesquisa e Governo (RUTKOSKY, 2012).

Ainda que esta iniciativa não tenha prosperado como seria desejável, observa-se que alguns avanços foram realizados de forma independente por diversas organizações cuja trajetória e esforços foram relatados previamente nesta seção. Assim, entende-se que há ainda oportunidade para o desenvolvimento de competências não só na caracterização de matérias-primas minerais, mas também para avanços na produção de hidróxido de lítio, materiais precursores e de componentes para células e, até mesmo, células para a montagem de módulos de baterias. O Brasil possui um conjunto de competências fundamentais e um ecossistema de pesquisa, desenvolvimento e inovação que poderia ser mobilizado para a geração de tecnologias e de mercado para o segmento de ônibus elétricos.

Na próxima seção, serão apresentadas as empresas que atuam nos demais elos da cadeia de valor, desde os fornecedores de bens minerais até as empresas envolvidas na montagem e na reciclagem de baterias de íons de lítio.

2. Fornecedores de materiais básicos e processados de lítio

Quanto ao fornecimento de materiais para baterias, fazendo um recorte específico ao lítio (que é precursor do cátodo), em 2018, o Brasil produziu apenas 600 toneladas de lítio, volume equivalente a cerca de 0,7% do mercado global. A totalidade da produção brasileira foi realizada pela Companhia Brasileira de Lítio (CBL). De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), as reservas nacionais estimadas, concentradas no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, respondem por 8% do minério no mundo, de um total de cerca de 14 milhões de toneladas (ZAPAROLLI, 2019).

Atualmente, quase a totalidade da produção e das pesquisas geológicas de minérios de lítio em andamento no Brasil estão acontecendo na região nordeste do estado de Minas Gerais, no que vem sendo chamado de província mineral do lítio.

A seguir serão apresentadas as principais empresas que estão atuando em atividades produtivas e comerciais relacionadas com a produção de materiais básicos e produtos químicos intermediários relevantes para a cadeia de valor de baterias de íons de lítio.

AMG Brasil - Advanced Metallurgical Group

Desde 1945, a AMG Brasil, subsidiária da holandesa Advanced Metallurgical Group, opera a mina Mibra localizada a cerca de 225 km a noroeste do Rio de Janeiro, 130 km a sudoeste de Belo Horizonte e a 300 km do Porto de Santos, o porto mais importante do Brasil. Desde então a empresa tem produzido e comercializado ligas de alumínio e óxidos de tântalo e nióbio de origem certificada para o mercado global. Mais recentemente, a empresa incorporou o lítio no seu portfólio de produtos.

A partir da infraestrutura de mineração já existente no Brasil, a AMG deu início as suas operações de lítio por meio da recuperação do mineral em materiais existentes em duas antigas barragens construídas a montante, além de novos rejeitos gerados pelas suas lucrativas operações de produção de óxido de tântalo, utilizado no mercado de produtos eletrônicos.

Nesse sentido, o lítio está sendo produzido como subproduto da operação já existente e, segundo a empresa, ela espera ser a produtora com o custo de concentrado de lítio mais baixo do mundo.

Em maio de 2018, a empresa deu início à primeira fase de um ambicioso projeto que visa aproveitar as oportunidades crescentes para o mercado de lítio, por meio da entrada em operação de planta industrial para a produção de 90 Mt/ano de concentrado de espodumênio. Segundo o presidente da AMG Mineração no Brasil, Fabiano Costa, o investimento da AMG nos dois anos anteriores teria sido algo entre US\$ 230 milhões para o lítio e demais projetos da empresa (LAGUARDIA, 2018).

A segunda fase do projeto estava prevista para o fim do ano de 2019, quando a produção seria dobrada para 180 Mt/ano de concentrado de espodumênio. Na terceira fase previa da implantação de uma planta química para a produção de carbonato ou hidróxido de lítio de modo a obter maior valor agregado e vantagem competitiva pela redução de custo com logística (LAGUARDIA, 2018).

Informações mais atualizadas apontam que a estratégia está mantida, embora a expansão para a segunda etapa tenha sido reduzida para 40 Mt/ano de concentrado de lítio. A implantação de planta de conversão química do concentrado de lítio para hidróxido de lítio monohidratado de nível técnico no Brasil está mantida, cujo produção deverá ser totalmente convertida em hidróxido de lítio monohidratado de grau bateria em instalação localizada em Bitterfeld-Wolfen, na Alemanha, dada a proximidade com uma crescente demanda das fábricas europeias de baterias.

Quadro 37
Características da empresa AMG Brasil

Elos da cadeia:	Mineração-Rocha dura > Processamento químico		
Empresa	AMG Brasil – subsidiária da AMG Lithium GmbH		
Site da empresa:	https://amg-br.com/pt		
Tipo de organização:	Empresa privada		
Origem de capital:	Estrangeiro		
Tipo de atividade:	Mineração	Região:	Sudeste
Localidade:	Nazareno e São Tiago	Estado:	MG

Fonte: Elaboração própria com base em AMG Brasil (2022).

A AMG estima que —dadas as condições técnicas [custos de extração e processamento] e econômicas atuais (preços de produtos)— existem recursos para cerca de 20 anos. Os dados de estimativa de recursos minerais mais recentes (abril de 2017), indicam que existam mais de 20 Mt de recursos medidos e indicados, incluindo os minerais de lítio, tântalo, nióbio e estanho. Desde maio de 2018, a capacidade de concentração de lítio é de 90 Mt/ano, podendo ser ampliada rapidamente para atingir até 130 Mt/ano para atender a demanda do mercado de concentrado de lítio.

A AMG é uma empresa global de materiais críticos para transição e descarbonização da indústria, transporte, energia, infraestrutura, químico e metais especiais. Se considerado o conjunto de produtos da empresa no Brasil e no mundo, observa-se que ele está em um alto nível de maturidade tecnológica e poderá mobilizar recursos tecnológicos e corporativos para promover inovações que incluem pesquisas com o sulfeto de lítio, os quais poderão ser desenvolvidos para a próxima geração de baterias de estado sólido de alto desempenho (AMG LITHIUM, 2022).

A AMG possui uma relação estabelecida bastante forte com a cadeia de valor de baterias de íons de lítio. O esforço que a empresa tem realizado para aproveitar todas as vantagens econômicas associadas com o controle dos seus ativos de produção mineral primária no Brasil e pela sua proximidade com o crescente mercado de baterias na Europa é percebido a partir da decisão de desenvolver a produção de hidróxido de lítio monohidratado de grau bateria em módulos de 20 Mt em Bitterfeld-Wolfen/Alemanha, podendo chegar até 100 Mt a partir do crescimento do mercado.

A exemplo de outras empresas multinacionais, todos os esforços de P&D estão alocados em instalações na região da sede da empresa. Os laboratórios da empresa se localizam em Frankfurt/Alemanha, que estão envolvidos em suporte técnico e otimização dos processos atuais e pesquisa sobre produtos da próxima geração para armazenamento de energia, ou seja, materiais de bateria de estado sólido e hidróxido de lítio anidro.

CBL - Companhia Brasileira de Lítio

De acordo com informações no portal da empresa (CBL, 2022), a Companhia Brasileira de Lítio [CBL] é uma empresa 100% nacional e pioneira na lavra subterrânea de um pegmatito litífero (ELIOTÉRIO *et al*, 2019) de excelente qualidade (1.6% LiO₂) e no beneficiamento do espodumênio. Além disso, a CBL afirma dominar toda a tecnologia que envolve extração e concentração de minério e produção de compostos químicos.

Nestes processos produtivos, a empresa gera 320 empregos diretos nas cidades de Araçuaí e Divisa Alegre, respectivamente, Mina da Cachoeira e planta de processamento químico que ficam a 180 km de distância uma da outra.

A Mina da Cachoeira começou a funcionar em 1991 e, logo no ano seguinte deu início à comercialização de Carbonato de Lítio Grau Técnico e Hidróxido de Lítio, quando as aplicações de lítio estavam apenas começando no mercado (PANASONIC ENERGY, 2022). Em 2013, a empresa foi eleita "Empresa do Ano" do setor pela revista BRASIL MINERAL e em 2016 atingiu a atual capacidade de produção, da ordem de 36 Kt/ano de concentrado de espodumênio ou 1,5 kt/ano de carbonato de lítio equivalente (LCE). As reservas da empresa são suficientes para mais 30 anos de produção nas atuais condições de mercado.

Quadro 38
Características da empresa CBL

Elos da cadeia:	Mineração-Rocha dura > Processamento químico		
Empresa:	CBL - Companhia Brasileira de Lítio		
Site da empresa:	https://cblitio.com.br/a-empresa/		
Tipo de organização:	Empresa privada		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Mineração	Região:	Sudeste
Localidade:	Araçuaí - Mina Divisa Alegre - processamento químico	Estado:	MG

Fonte: Elaboração própria com base em CBL (2022).

Dadas as características da jazida da Mina da Cachoeira, a extração ocorre de forma subterrânea pelo método conhecido como sublevel stoping. As atuais galerias de produção subterrânea estão a 180 metros de profundidade e se estendem por mais de 5 km de extensão.

Em geral, o custo de extração subterrânea é consideravelmente maior do que métodos de extração à céu aberto, como aqueles utilizados nas minas da AMG e da Sigma.

O minério bruto [ROM-run of mine] extraído da mina passa por processo de concentração¹⁸ por meio um conjunto de operações unitárias de britagem, classificação granulométrica e separação por meio denso de forma a obter o concentrado de espodumênio. Este concentrado é transportado para ser processado quimicamente para a produção de carbonato e hidróxido de lítio.

Até pouco tempo estes produtos não atendiam as especificações técnicas para a manufatura de materiais ativos para baterias de íons de lítio, sendo comercializados para aplicações em graxas lubrificantes, sais de tratamento térmico, farmacêuticas, cerâmicas e vidros, dentre outras.

A partir de 2019, contudo, a empresa passou a produzir e comercializar carbonato de lítio grau bateria, estabelecendo relações produtivas e comerciais cada vez mais fortes com a cadeia de valor de baterias de íons de lítio.

Dadas as competências instaladas, é possível afirmar que a empresa possui um elevado grau de maturidade tecnológica ao longo da cadeia de valor, utilizando-se de tecnologia de ponta na extração, beneficiamento mineral e na produção de compostos químicos de lítio.

É importante ressaltar que, desde meados de 2018, a Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais [Codemge], majoritária da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais [Codemig], adquiriu 33,33% das ações da CBL, vista como componente central da estratégia de inserção competitiva em mercados de mobilidade elétrica e de geração distribuída (CODEMGE, 2018). Posteriormente, em movimento contrário, a Codemge abriu consulta de interesse, de 04/02/2022 a 07/03/2022, com a finalidade de receber propostas do setor privado para a alienação de sua participação (33,33%) na Companhia Brasileira de Lítio (CBL) (CODEMGE, 2022).

Até 2025, a CBL tem como objetivos estratégicos i) atender as demandas do mercado brasileiro de hidróxido de lítio e carbonato de lítio; ii) consolidar as exportações de carbonato de lítio para baterias; iii) beneficiar e comercializar coprodutos [Feldspato, Quartzo e Mica, e de aditivos minerais a partir de Silicato de Alumínio]; iv) purificação do lítio para separação isotópica; e, v) duplicar a produção carbonato de lítio equivalente [LCE].

CBMM - Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração

A Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) é líder mundial na produção e comercialização de produtos de nióbio, com mais de 400 clientes em mais de 50 países. Sediada no Brasil, com escritórios e subsidiárias na China, Países Baixos, Singapura, Suíça e Estados Unidos, a companhia fornece produtos e tecnologia de ponta aos setores de infraestrutura, mobilidade, aeronáutico e energia. Desde 1955, a empresa opera a maior mina de nióbio do mundo, perto da cidade de Araxá, que fica a 360 quilômetros de Belo Horizonte, Minas Gerais, no sudeste do Brasil (CBMM, 2018).

Sabe-se que o Brasil tem aproximadamente 98% das reservas conhecidas no mundo, seguido pelo Canadá e Austrália. As reservas comprovadas no Brasil, segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM),

¹⁸ Os processos de concentração se aproveitam das diferenças nas propriedades físicas e físico-químicas dos minerais presentes em uma rocha, a saber: densidade, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica superficial e molhabilidade ou hidrofobia. De acordo com a propriedade diferenciadora, utilizam-se métodos de concentração gravimétrica, densitária, magnética, elétrica e flotação.

em 2018, era de 842,4 milhões de toneladas métricas, sendo que 75% em Araxá (VASCONCELOS e CHAVES, 2019). A CBMM, com sede no Brasil, é a principal produtora mundial de nióbio¹⁹.

Como a principal produtora de nióbio do mundo, a CBMM investe agressivamente para desenvolver novas aplicações para um material produzido praticamente apenas no Brasil, reservando cerca de R\$ 150 milhões por ano em P&D, o equivalente a 3% de sua receita de R\$ 4,8 bilhões em 2017. Seu Centro de Tecnologia conta com uma equipe de 122 técnicos e pesquisadores, além de parceiros em universidades e centros de pesquisa no Brasil e no exterior (VASCONCELOS e CHAVES, 2019).

Quadro 39
Características da empresa CBMM

Elos da cadeia:	Mineração-Rocha dura / Componente-Ânodo		
Empresa:	CBMM		
Site da empresa:	https://cbmm.com/pt/		
Tipo de organização:	Empresa privada, participação de 15% com siderúrgicas chinesas e 15% com joint venture siderúrgica nipo-coreana		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Mineração	Região:	Sudeste
Localidade:	Araxá	Estado:	MG

Fonte: Elaboração própria com base em CBMM (2022).

Foi nesse contexto que, em junho de 2018, a CBMM, Toshiba e Sojitz assinaram um acordo para produção e a comercialização de baterias de íons de lítio de próxima geração usando óxido de titânio de nióbio (NTO) como material de ânodo (TOSHIBA, 2021), tendo em vista maior densidade de energia e carregamento mais rápido dessa química do ânodo em relação ao grafite (TOSHIBA, 2022).

A partir do desenvolvimento de protótipos de células pela Toshiba, as empresas decidiram desenvolver processos de produção e a comercialização (CBMM, 2018). De acordo com Vasconcelos e Chaves (2019), a CBMM e cada um dos seus parceiros investirão US\$ 7,2 milhões na construção de uma instalação piloto de fabricação de baterias²⁰ em Kashiwazaki, Japão, adjacente a uma fábrica da Toshiba, além de outro projeto, em fase inicial de desenvolvimento, que visa a adição de nióbio no cátodo em parceria com a norte-americana Wildcat Discovery Technologies, em San Diego, na Califórnia (ZAPAROLLI, 2019).

Já como resultado da parceria com a Toshiba e Sojitz, a CBMM contratou a Volkswagen Caminhões e Ônibus para testar a aplicação desta tecnologia em caráter piloto em um novo veículo elétrico projetado pela empresa (CBMM, 2022), além de parceria com empresa produtora de motocicletas elétricas (NIOBIUM HUB, 2022).

Sabe-se que a CBMM tem uma reconhecida atuação em P&D própria e externa com parceiros nacionais e internacionais. Não há dúvidas quanto ao alto nível de maturidade da nova tecnologia desenvolvida em parceria com a Toshiba e sua capacidade de estabelecer uma forte relação com a cadeia de valor de baterias de íons de lítio.

¹⁹ O nióbio (Nb), um dos elementos metálicos, é um aditivo importante na produção de ligas de aço de alta qualidade, incluindo aço inoxidável e de alta resistência, e sua capacidade de aumentar a resistência e reduzir o peso o tornou indispensável para aplicações automotivas.

²⁰ A nova geração de baterias que se caracterizam pela alta densidade energética e recarga ultra rápida, duas demandas atuais da indústria automotiva diante da procura crescente por veículos elétricos que usam baterias recarregáveis.

A parceria entre CBMM, Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation e Sojitz Corporation define o início da produção das novas baterias em pequena escala, sendo esta a última etapa do desenvolvimento tecnológico antes da produção em escala industrial. Neste projeto, a Toshiba também tinha a intenção de estabelecer uma rede de suprimento de materiais e iniciar a comercialização dessa nova geração de baterias no começo do ano de 2020 (CBMM, 2018).

A Toshiba lançou recentemente novas células de bateria de íons de lítio [modelo SCiB 20Ah-HP] com densidade de energia de 84 Wh/kg. Apesar de não ser suficientemente alta para carros elétricos se comparada com a química LFP [mais barata e mais eficiente], mas espera-se que esta tecnologia possa atender em curto prazo os requisitos de carga ultra-rápida para ônibus que precisam ser carregados de forma rápida várias vezes por dia durante 24 horas por dia, 7 dias por semana, por exemplo (INSIDEEVs, 2022).

Latin Resources Limited

A Latin Resources Limited (ASX: LRS) é uma empresa australiana de exploração mineral que desenvolve projetos na Austrália e na América do Sul. Na América do Sul, a empresa está focada em projetos de lítio e cobre, alinhada com a crescente demanda destes minerais para o mercado de veículos elétricos (LATIN RESOURCES, 2022).

Quadro 4o
Características da empresa Latin Resources

Elos da cadeia:	Mineração-Rocha dura		
Empresa:	Latin Resources - ASX:LRS; FRA:XL5		
Site da empresa:	https://www.latinresources.com.au		
Tipo de organização:	Empresa privada		
Origem de capital:	Estrangeiro		
Tipo de atividade:	Mineração	Região:	Sudeste
Localidade:	Salinas	Estado:	MG

Fonte: Elaboração própria com base em Latin Resources (2022).

A Latin Resources está desenvolvendo um extenso programa exploratório no Projeto Salinas, localizado a 10 km da cidade de mesmo nome, na região nordeste de Minas Gerais e a 600 km a nordeste de Belo Horizonte. A área em fase de pesquisa geológica está dentro da região que abriga uma província mineral de pegmatitos e que já conta com operações de mineração de lítio, como aquelas realizadas pela CBL e da Sigma Mineração.

São duas áreas de pesquisa ora em andamento, uma no prospecto Vale do Bananal, com 1.250 ha e no Salinas Sul, com outros 4.088 ha, onde já foram identificados pegmatitos com espodumênio em uma área de mais de 4 km² e cujos resultados de amostragem de sedimentos apontam para uma concentração anômala no prospecto Salinas Sul. A amostragem com a retirada de testemunhos de rocha confirmou a presença de pegmatitos de espodumênio com duas amostras com teores entre 2,71% Li₂O e 1,45% Li₂O, respectivamente.

A empresa afirma ter iniciado novas sondagens em fevereiro para o prospecto do Vale do Bananal e no segundo trimestre de 2022 deverá intensificar o processo exploratório no prospecto Salinas Sul. A sucesso obtido pela Sigma e da CBL na região tem sido objeto de otimismo da Latin Resources que também espera ser bem-sucedida na identificação e dimensionamento destes recursos (LATIN RESOURCES, 2022).

Os resultados da avaliação final da Latin Resources devem estar finalizados em dois ou três anos, mas é possível que, dadas as condições do mercado, um eventual esforço de antecipação possa ser obtido. De qualquer modo, a partir do relatório final da pesquisa há ainda todo um esforço para estudos de viabilidade técnica da mina, a caracterização tecnológica do minério, testes dos produtos no mercado, definição da planta de concentração e plano de comercialização. Segundo nossa avaliação, espera-se que, entre 5 e 7 anos, a empresa possa dar início à produção de forma autônoma ou com parceiros operacionais.

Sigma Mineração S.A.

A Sigma Mineração S.A, uma empresa subsidiária integral indireta da Sigma Lithium Corporation, está localizada na região do vale do Jequitinhonha, nordeste do estado de Minas Gerais, onde a empresa possui 27 títulos de direitos minerais sobre uma área de 191 km² distribuída entre as cidades de Araçuaí e Itinga. A área total da empresa abrange nove (9) depósitos previamente minerados e onze (11) novos alvos de exploração que estão localizados a uma distância de 450 km de Belo Horizonte e 500 km do Porto de Ilhéus. O quadro 41 apresenta características da empresa.

Quadro 41
Características da empresa Sigma Mineração S.A.

Elos da cadeia:	Mineração-Rocha dura		
Empresa:	Sigma Lithium Corporation [SGML – Nasdaq e TSXV]		
Site da empresa:	https://www.sigmalithiumresources.com		
Tipo de organização:	Empresa privada		
Origem de capital:	Estrangeiro		
Tipo de atividade:	Mineração	Região:	Sudeste
Localidade:	Araçuaí e Itinga	Estado:	MG

Fonte: Elaboração própria com base em Sigma Mineração (2022).

A empresa afirma que tem produzido concentrado de lítio em escala piloto desde 2018 e está realizando esforços para dar início a produção comercial no fim do ano de 2022. A produção de concentrado de lítio da Sigma acontecerá por meio de projeto comercial intitulado Grota do Cirilo, o qual será abastecido de água e energia por meio do rio Jequitinhonha e pela usina hidrelétrica de Irapé.

De acordo com estudo de viabilidade do projeto, na Fase 1 do projeto deverão ser produzidas 220 mil ton/ano de concentrado de lítio grau bateria [33 mil ton/ano de carbonato de lítio - LCE] e; na Fase 2 a empresa pretende dobrar a produção anual e desenvolver um processo de produção totalmente sustentável (PRIMERO, 2019).

A empresa almeja ser a quarta maior produtora de lítio e a segunda mais custo competitiva do mundo em 2023. O valor estimado do investimento para o projeto é de ordem de US\$ 143 milhões de dólares, numa das relações mais baixas dos projetos em implantação no mundo hoje, da ordem de 324 US\$/ton-ano (SIGMA LITHIUM, 2022).

De acordo com Primero (2021), a estimativa do volume de recursos minerais em quatro (4) jazidas [Xuxa, Barreiro, Murial e Lavra do Meio] é de quase 50 milhões de toneladas com teor médio de 1,42% de Li₂O. A estimativa mais detalhada em termos de reservas provadas e prováveis para o depósito de Xuxa é de quase 14 milhões de toneladas com teor médio de 1,46% de Li₂O.

A produção terá início pela extração do mineral de minério de rocha dura do tipo espodumênio [diferente dos depósitos de salmouras mais comuns na Argentina, Chile e Bolívia], cujo empreendimento mina-concentração deverá gerar quase 300 empregos diretos. Para o depósito Barreiro [Fase 2 do projeto] os recursos são estimados em 20,5 milhões de toneladas com teor médio de 1,43% de Li₂O.

As decisões da empresa foram sendo testadas desde 2018 a partir da produção de um concentrado de lítio com baixo teor de carbono e alta pureza em uma planta piloto de demonstração em escala piloto. Por meio de estudos de estimativas de volumes e qualidade da reserva (teor e propriedades físico-químicas do minério), a empresa definiu método de lavra e rota de concentração do minério por meio de tecnologia de separação por meio denso²¹ controlado digitalmente por meio de algoritmos proprietários de forma integrada verticalmente às operações de mineração de espodumênio de alta qualidade, resultando em um concentrado de lítio de alta pureza de grau bateria [acima de 6%] para aplicações em veículos elétricos (PRIMERO, 2021).

Dado o avanço do modelo de negócios da empresa, pode-se afirmar que a empresa possui um nível de maturidade tecnológica de ordem 8, na medida em que a comercialização em grande escala ainda não foi efetivada. Quanto a esse aspecto, a empresa afirma em seu site que já possui acordos comerciais prévios para comercialização direta com produtores de baterias, tais como a LG Energy Solution [100.000 ton/ano] e Mitsui & Co. [150.000 ton/ano], as quais ficarão responsáveis pelo processamento químico do concentrado de lítio.

Nesse sentido, entende-se que a relação com a cadeia de valor de baterias de íons de lítio ainda está estabelecida, mas ainda de forma fraca. Observa-se que a decisão de comercializar o concentrado diretamente com os fabricantes de células implica que a empresa não indica interesse, neste momento, em avançar na produção química, ou seja, para o próximo elo da cadeia de valor dentro do Brasil.

3. Fornecedores de materiais ativos e células de baterias

Oxis Energy

O empreendimento que seria realizado pela Oxis Energy, infelizmente não se concretizou como esperado e o negócio que tinha como ambição ser a primeira fábrica em escala industrial de células de bateria de lítio-enxofre (LiS) não prosperou.

A parceria iniciada em 2018 entre a empresa inglesa e a Codemge (Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais), planejada para ser instalada em Juiz de Fora (Minas Gerais), deveria começar a operar em 2023 com uma produção anual de 300 mil células, podendo chegar até 5 milhões. Dentre as companhias que haviam manifestado interesse pelas células de Li-S estavam a brasileira Embraer, as norte-americanas Boeing e Lockheed Martin, o consórcio europeu Airbus e as alemãs Mercedes-Benz e Porsche (ZAPAROLLI, 2019).

4. Fornecedores de módulos e pacotes de baterias

Baterias Moura

Fundada em 1957 pelo empresário Edson Mororó Moura na cidade de Belo Jardim, interior do estado de Pernambuco, a Baterias Moura é a maior empresa de baterias chumbo ácida da América Latina, por meio de vendas para os mercados de baterias para fabricantes originais de veículo [OEM], reposição e exportação (CASTRO, 2013); (PEREIRA e SCHIAVI BÁNKUTI, 2016).

²¹ Ou DMS, um método de classificação gravimétrica fundamentado na diferença de densidade entre um meio fluido e os minerais a serem separados por meio de equipamentos do tipo hidrociclone.

Quadro 42
Características da empresa Baterias Moura

Elos da cadeia:	Módulo de Bateria/Pacote da Bateria/NA		
Empresa:	Baterias Moura		
Site da empresa:	https://www.moura.com.br/moura-litio/#sobre		
Tipo de organização:	Empresa privada		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Manufatura	Região:	Nordeste
Localidade:	Belo Jardim	Estado:	PE

Fonte: Elaboração própria com base em Moura (2022).

Com 64 anos de história, o grupo fundado na cidade de Belo Jardim, a 200 quilômetros de Recife (PE), pretende continuar investindo na fábrica instalada neste município. A empresa teve um faturamento da ordem de R\$ 2 bilhões em 2021, um crescimento de 20% em relação a 2020. A empresa tem investido continuamente no desenvolvimento de novas baterias automotivas convencionais de chumbo ácido, baterias de íons de lítio e em tecnologias para armazenamento estacionário de energia em grandes volumes. Atualmente as células para a fabricação das baterias de lítio são importadas da China e a montagem é feita no Brasil (CARVALHO, 2021).

A Baterias Moura é o principal fabricante de baterias da América do Sul. Mais da metade dos carros fabricados no Brasil e na Argentina utilizam marcas de baterias da empresa. A empresa emprega mais de 6,5 mil empregados e possui seis fábricas no Brasil e uma na Argentina.

A Moura teve o apoio da reconhecida consultoria Roland Berger durante os anos de 2018 e 2019 para o desenho da sua estratégia para lítio. Desde 2019, a empresa possui acordo com a CATL, maior empresa de baterias de íons de lítio do mundo, para representação, fornecimento e gestão do ciclo de vida das baterias chinesas importadas para o Brasil. A decisão de importar células e a parceria com a CATL é parte de uma decisão para não investir no desenvolvimento de plantas de manufatura de células na atual conjuntura devido ao alto custo para determinadas escalas de produção (MOURA, 2022).

Apesar da importação de células de lítio da CATL, a montagem de baterias no Brasil incluiu a nacionalização de mais de 60 itens. Ainda não há como definir um valor sobre a capacidade de produção da empresa, na medida em que a maior parte dos projetos desenvolvidos até o momento foram projetos pilotos.

O Grupo Moura, a Eletra e Xalt Energy, firmaram acordo em fevereiro de 2019 para produção do primeiro ônibus elétrico 100% fabricado no Brasil e, após 15 meses de desenvolvimento, que também contou com a WEG S.A., o ônibus elétrico Dual Bus 15m da Eletra marcou a entrada da primeira e única bateria de lítio para ônibus elétricos adaptada no Brasil (ELETRA, 2019). Infelizmente, segundo informação de entrevistada, a parceria com a Xalt Energy se limitou a apenas esse projeto.

Posteriormente, o Grupo Moura também participou do projeto com a Volkswagen Caminhões e Ônibus (VWCO), juntamente com CATL, Bosch, Siemens, Eletra, WEG, Meritor e Semcon, para a produção do e-delivery (KUTNEY, 2021), projeto dos primeiros dois caminhões médios elétricos classificados como VUCs (veículo urbano de carga) de 11 e 14 toneladas do Grupo Traton, dono das fabricantes de caminhões e ônibus VWCO, MAN e Scania. O projeto iniciado em 2017, consumiu cerca de R\$ 150 milhões no seu desenvolvimento e, por ocasião do seu lançamento, em meados de 2021, o modelo já tinha mais de 120 pedidos confirmados e mais de 50 empresas interessadas pelo produto.

Neste projeto, a Moura ficou responsável pela montagem das baterias de íons de lítio da chinesa CATL, montagem elétrica e deverá realizar a manutenção e reciclagem dos acumuladores, com modelos que poderão garantir autonomia de 100 km ou 250 km com carga máxima (KUTNEY, 2021).

De acordo com o executivo entrevistado, a experiência nestes projetos forneceu know how e uma percepção positiva em relação às oportunidades que veículos como ônibus elétricos podem representar para entrada com mais protagonismo da Moura, em função da possibilidade de atingir mais volume de produção e maior possibilidade de nacionalização.

Pode-se afirmar que a empresa já atingiu um alto nível de maturidade tecnológica e já estabeleceu uma forte relação com a cadeia de valor de baterias de íons de lítio. As suas competências corporativas, em termos de rede própria de vendas, assistência técnica e serviços de pós-vendas e para baterias industriais e de lítio.

Do ponto de vista da sua estrutura, com menos de 10 empregados em 2017, atualmente a empresa possui uma diretoria com mais de 100 pessoas dedicadas exclusivamente ao segmento de lítio. Por ser um tradicional fornecedor para a indústria automotiva, a empresa está numa posição bastante confortável para a fornecer baterias de lítio para diversos OEMs no futuro.

BMC - Bravo Motor Company

De acordo com a Bravo Motor Company (BMC) (BRAVO, 2022), a empresa conta com mais de 700 investidores e empreendedores de mais de 20 países. Em 5 de março de 2021, o governador do Estado de Minas Gerais assinou um protocolo de intenção entre o Estado e a Bravo Motor Company para implantação de uma fábrica de veículos elétricos e pacotes de baterias na Região Metropolitana de Belo Horizonte, cujo investimento para a primeira fase do projeto, chamada de Projeto Colosso 1, está estimado em R\$ 25 bilhões (AGÊNCIA MINAS, 2021).

Na mesma ocasião, a Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil) também assinou um Protocolo de Intenções com a BMC para ações de facilitação de investimentos das empresas participantes da Colossus Cluster Minas Gerais, dentre as quais se incluem o apoio na interlocução das empresas estrangeiras com órgãos federais relacionados aos temas do projeto. Nesse sentido, a Apex-Brasil promoveu reuniões dos dirigentes da BMC com os ministros da Economia, Meio Ambiente e representantes do Ministério da Ciência e Tecnologia e do BNDES para apresentar o projeto e discutir necessidades de assistência (APEX BRASIL, 2021).

Quadro 43
Características da empresa Bravo Motor Company

Elos da cadeia:	Módulo de Bateria/Pacote da Bateria/OEM EV		
Empresa:	BMC		
Site da empresa:	https://bravomotorcompany.com		
Tipo de organização:	Empresa privada		
Origem de capital:	Estrangeiro		
Tipo de atividade:	Manufatura	Região:	Sudeste
Localidade:	Nova Lima	Estado:	MG

Fonte: Elaboração própria com base em BMC (2022).

Com o apoio da Fundação de Apoio da UFMG (Fundep), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e do Parque Tecnológico de Belo Horizonte (BH-Tec), a perspectiva da BMC era de iniciar a implantação da fábrica de veículos elétricos em junho de 2021 e começar a operação em 2023 e, a partir de 2024, produzir quase 23 mil veículos e 44 mil pacotes de baterias em parceria com a Faraday Future,

com a previsão de criar quase 14 mil empregos diretos e indiretos a partir do investimento de R\$ 25 bilhões previsto, a ser realizado até o fim do ano de 2029 (FUNDEP, 2021).

BYD - Build Your Dreams

Desde que chegou ao Brasil, em 2015, a BYD inaugurou diversas unidades produtivas. Neste ano, deu início às operações de montagem de ônibus 100% elétricos, em Campinas, no interior do estado de São Paulo. Nesta mesma cidade, em 2017, começou a produzir de módulos fotovoltaicos. Em 2020, numa estratégia de verticalização, iniciou a operação de produção de baterias de fosfato de ferro-lítio (LiFePO₄) no Polo Industrial de Manaus (PIM) para atender os ônibus elétricos fabricados em Campinas.

Quadro 44
Características da empresa BYD

Elos da cadeia:	Módulo de Bateria > Pacote da Bateria		
Empresa:	BYD		
Site da empresa:	https://www.byd.com.br		
Tipo de organização:	Empresa privada		
Origem de capital:	Estrangeiro		
Tipo de atividade:	Manufatura	Região:	Norte
Localidade:	Manaus, Polo Industrial de Manaus [PIM]	Estado:	AM

Fonte: Elaboração própria.

A empresa ainda está desenvolvendo dois projetos de monorail [SkyRail] nas cidades de Salvador, no estado da Bahia; e, em São Paulo, capital do estado de mesmo nome. A empresa também comercializa no Brasil empilhadeiras, caminhões, furgões e automóveis, todos totalmente elétricos e não poluentes. Desde novembro de 2021, começou sua estratégia de venda de veículos elétricos de passeio com o modelo tipo SUV Tan EV e escolha da sua primeira concessionária de veículos elétricos da marca no Brasil (BYD, 2021).

Com um investimento de R\$ 15 milhões, a fábrica em Manaus tem uma capacidade de produção de até 1 mil baterias por ano. Instalada em área de 5 mil metros quadrados que permitirá sua expansão futuramente, a empresa vai produzir módulos de bateria para uso em veículos elétricos, nos modelos C15-12SYL²² e C15-14SYL que se utilizam da química de fosfato de ferro-lítio no material do cátodo.

Com capacidade tecnológica e corporativa de classe mundial, a BYD é uma das maiores empresas privadas da China e com atuação em 50 países. Listada nas Bolsas de Valores de Hong Kong e Shenzhen, tem mais de 220 mil funcionários, distribuídos em mais de 30 fábricas no mundo, com cerca de 20 mil engenheiros pesquisadores e mais de 24 mil patentes já desenvolvidas. A BYD, entre 2015 e 2018, foi a maior fabricante global de baterias de lítio-ferro e de veículos elétricos, a segunda maior fornecedora de componentes para celulares, tablets e laptops no mundo, além de contar com prêmios internacionais (BYD, 2021).

Nesse sentido, a história da empresa e suas práticas possuem uma relação extremamente forte com a cadeia de baterias de íons de lítio e, ainda, a química utilizada nas suas baterias tem ganhado impulso no mercado de baterias para veículos elétricos. O Quadro 44 abaixo apresenta destaques da empresa desde a sua fundação em 1995.

²² Com tensão nominal 44,8 V e peso entre 92,8 e 101,2 kg; e, tensão nominal: 38,4 V e peso entre 81,4 e 87,6 kg.

Quadro 45
Destaques da empresa BYD desde a sua fundação

Ano	Evento
1995	O premiado químico Wang Chuanfu, pesquisador do governo chinês, funda a BYD com 20 funcionários.
2002	Primeira fornecedora de baterias para Nokia e Motorola.
2003	Lança primeiro EV com marca própria.
2008	Warren Buffet adquire 10% do capital da empresa. Primeiro ônibus 100% elétrico da marca.
2011	Conclui grandes projetos de armazenamento de energia e ajuda a China liderar a frota mundial de EV.
2014	Chegada da BYD no Brasil.
2015	BYD entrega os 10 primeiros ônibus elétricos na cidade de Campinas.
2016	Inaugura fábrica de chassis para ônibus elétrico em Campinas.
2017	Segunda fábrica para produção de painéis fotovoltaicos no Brasil.
2019	Atinge a marca de 1 000 ônibus elétrico na Latam.
2020	Terceira fábrica BYD no Brasil e primeira fábrica de Baterias com capacidade de produção de até 1 000 baterias por ano a fábrica está localizada no Polo Industrial de Manaus o PIM.
2021	Atinge um milhão de EV vendidos no mundo e lançamento de automóvel elétrico de passeio [SUV Tan EV] e nomeia a EuroBike como a primeira concessionária de automóveis elétricos da marca no Brasil.

Fonte: Extraído de BYD (2022).

WEG S.A.

A WEG é uma das mais importantes e inovadoras empresas de bens de capital do Brasil. É uma empresa multinacional brasileira com sede na cidade de Jaraguá do Sul, no estado de Santa Catarina, na região sul do país (WEG, 2022). A empresa é uma das maiores fabricantes de equipamentos elétricos do mundo, atuando nas áreas de comando e proteção, variação de velocidade, automação de processos industriais, geração e distribuição de energia e tintas e vernizes industriais, entre outros produtos. A empresa possui, no Brasil, quatorze parques fabris e, em abril de 2006 deu início ao seu processo de internacionalização ao adquirir 30% da empresa fabricante de transformadores mexicana Voltran. Desde então, a WEG se estabeleceu em 9 países, dentre os quais China e na Índia, inaugurada em fevereiro de 2011, além de 22 filiais e representantes em mais de 100 países.

Quadro 46
Características da empresa WEG S. A.

Elos da cadeia:	Módulo de Bateria/Pacote da Bateria		
Empresa:	WEG S.A. - B3:WEGE3/OTC:WEGZY		
Site da empresa:	https://www.weg.net/institucional/BR/pt/		
Tipo de organização:	Empresa privada		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Manufatura de produtos elétricos	Região:	Sul
Localidade:	Jaraguá do Sul	Estado:	SC

Fonte: Elaboração própria com base em WEG (2022).

Em 2019, três anos depois da aquisição do negócio de turbinas eólicas da Northern Power Systems (“Northern Power” ou “NPS”) (WEG, 2016), a partir do qual se tornou a única empresa brasileira a produzir e comercializar aerogeradores de acionamento direto de grande porte de até 4 MW, a WEG S.A anunciou a aquisição do negócio de Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias (Energy Storage System – ESS) da mesma empresa norte americana. De acordo com um executivo da

WEG Automação, o negócio, naquele momento, trazia mais sinergia às soluções de energias renováveis [eólica e solar PV] e mobilidade elétrica, tendo em vista que a empresa já tem produtos para o sistema de propulsão elétrica, como os motores e eletrônica de potência.

Nas duas operações houve a transferência de ativos, carteira de patentes, know-how e materiais afins, incluindo todos os desenhos, projetos, especificações e software, além da manutenção das equipes comercial e de engenharia para ambos os negócios.

De qualquer modo, mesmo antes destes movimentos, em 2017, a WEG já estava envolvida no mercado de baterias de íons de lítio, quando forneceu o sistema de armazenamento de energia elétrica para estação de recarga de veículos elétricos²³, em Florianópolis, como parte de empreendimento entre o posto Ilha Bela, a Celesc e a Fundação CERTI (WEG, 2017), marcando sua entrada no negócio que envolve um mix de soluções para mobilidade elétrica e geração de energia renovável para usinas solares e eólicas.

À época das entrevistas, de acordo com fonte da empresa, o diretor da área estava realizando diversos NDA no exterior, mas não havia autorização para dar publicidade aos movimentos em curso. Atualmente, a WEG está importando células de lítio com base em autorização permitida por legislação de ex-tarifário para a montagem de pacotes de bateria, principalmente para o mercado de armazenamento estacionário de energia, ônibus e caminhões.

A maior parte das vendas que foram realizadas para projetos pilotos, como o projeto e-Delivery, da VWCO, no qual a WEG foi responsável pelo fornecimento do sistema Powertrain, formado por um motor elétrico de tração mais um inversor de frequência, além de motores elétricos e inversores para sistemas auxiliares para a família de caminhões (WEG, 2019). A WEG também participou do projeto para o primeiro ônibus elétrico da Eletra e para a Marcopolo, para o qual contribuir também com o fornecimento das baterias de íons de lítio e do powertrain [motor elétrico + inversor de frequência]. Adicionalmente, a empresa também anunciou que vai fornecer o sistema de powertrain para o primeiro carro-forte 100% elétrico do mundo, da empresa Eletra, que foi lançado em meados de 2021. Segundo o executivo entrevistado, a WEG está utilizando uma solução de mercado para o Battery Management System (BMS) (Sistema de Gerenciamento de Bateria, tradução nossa), mas já está realizando P&D com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Mais recentemente, a empresa anunciou que deu início à produção de sistemas de baterias para equipar, inicialmente, dez ônibus elétricos para a cidade de Sorocaba, SP. A empresa ambiciona assumir um papel de protagonismo no segmento de mobilidade elétrica do Brasil por meio da oferta de uma solução que abrange desde o fornecimento de motores elétricos e carregadores a sistemas de baterias de íons de lítio. Como já mencionado, as células serão importadas, mas os outros itens serão nacionais. A projeção é investir R\$ 1 bilhão este ano no conjunto de projetos da empresa (MERCADO & CONSUMO, 2022).

5. Fornecedores de serviços de reciclagem

Fundição Tupy

A Fundição Tupy é uma empresa multinacional brasileira que desenvolve e produz componentes estruturais em ferro fundido de elevada complexidade geométrica e metalúrgica e cujas soluções de engenharia são aplicadas em diversos setores. A sua principal unidade fabril e sede administrativa está na cidade de Joinville (SC), além de Mauá (SP) e Betim (MG) no Brasil, além das unidades nas cidades de Saltillo e Ramos Arizpe (México) e Aveiro (Portugal). A Tupy ainda mantém escritórios no Brasil, EUA, Alemanha, Itália e Holanda.

²³ Atualmente, a Weg tem parcerias com Renault e a Stellantis (Fiat, Jeep, Peugeot e Citroën) para fornecimento de carregadores para revendas e clientes, e com a BMW num projeto de uso de energia solar em carregadores.

Quadro 47
Características da empresa Fundição Tupy

Elos da cadeia:	Reciclagem/NA/NA		
Empresa:	Tupy		
Site da empresa:	https://www.tupy.com.br		
Tipo de organização:	Empresa privada		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Manufatura	Região:	Sul
Localidade:	Joinville	Estado:	SC

Fonte: Elaboração própria com base TUPY (2022).

Recentemente, a empresa anunciou parceria inédita com a Escola Politécnica da USP (Poli-USP), a Fundação USP e a Empresa Brasileira de Pesquisa Industrial e Inovação²⁴ (EMBRAPII) para o desenvolvimento de pesquisa em reciclagem de baterias de lítio, cujo investimento inicial é de cerca de R\$ 4 milhões. Pela Poli-USP, o projeto deverá ser desenvolvido por um grupo de 15 pesquisadores ao longo dos dois anos, podendo chegar a 20 profissionais envolvidos, entre professores, doutores, mestrandos e técnicos. A Fundação USP e a Embrapii também estarão juntas na parceria. A ideia central é desenvolver um processo de reciclagem por meio de uma rota hidrometalúrgica, mais eficiente do ponto de vista energético e com menor emissão de GEE que a rota pirometalúrgica, a mais comum em uso atualmente (EAE MÁQUINAS, 2021).

A vertente empresarial do projeto será levada a cabo pelo ISI Eletroquímica para atender uma demanda da BMW que busca o desenvolvimento de processo de reciclagem de células de baterias de íon-lítio dos veículos da BMW, por meio do qual pretende-se desenvolver uma nova rota para uso de minerais reciclados na fabricação de baterias novas cujo objetivo é a ressíntese do material ativo do cátodo de uma bateria, com material 100% reciclado. O investimento inicial nesta vertente do projeto da Tupy, BMW Group Brasil e ISI Eletroquímica é de cerca de R\$ 3,4 milhões (EAE MÁQUINAS, 2021).

Para a Tupy, esta iniciativa busca aproveitar-se da sua base de conhecimento da metalurgia, a qual possui um alto grau de maturidade tecnológica e, ainda, buscar uma maior aproximação com a cadeia de valor de baterias de íons de lítio.

Energy Source

De acordo com informação da própria empresa, a Energy Source, fundada em 2016, é a primeira empresa do mundo a oferecer uma solução sustentável através do reuso e reciclagem de baterias de lítio. A reciclagem consegue recuperar mais de 90% dos metais e óxidos, tais como Cobalto, Níquel, Lítio e Cobre por meio de um processo hidrometalúrgico. A cada uma tonelada de bateria de lítio processada são evitadas cerca de quatro toneladas de emissão de Carbono. No caso do reuso, a aplicação ocorre para uso estacionário nos setores de energias solar, eólicas e telecomunicações. A empresa dispõe de solução de monitoramento das células das baterias de diversos indicadores de funcionamento, como corrente, temperatura, tensão e potência consumida versus injetada.

A Energy Source tem um perfil de negócios fundamentado em pesquisa e ciência. A empresa mantém, desde sua fundação, uma estreita cooperação com universidades e organizações de apoio à pesquisa e à inovação. A empresa possui acordos de cooperação e parcerias com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), Universidade Estadual de Maringá (UEM), Instituto Federal de São Paulo (IF-SP), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino (Unifae) e Universidade Estadual Paulista (Unesp), campus de São João da Boa Vista.

²⁴ A execução neste projeto será realizada pelo Instituto Senai de Inovação em Eletroquímica de Curitiba, Paraná, que é a única unidade credenciada pela EMBRAPII nesta área.

Quadro 48
Características da empresa Energy Source

Elos da cadeia:	Reciclagem/Reuso		
Empresa:	Energy Source		
Site da empresa:	https://www.energysource.com.br		
Tipo de organização:	Empresa privada		
Origem de capital:	Nacional		
Tipo de atividade:	Manufatura	Região:	Sudeste
Localidade:	São João da Boa Vista	Estado:	SP

Fonte: Elaboração própria com base em ENERGY SOURCE (2022).

Com apoio da Agência Unesp de Inovação (AUIN), a Energy Source e o CAST (Center for Advanced and Sustainable Technologies) desenvolveram e depositaram patente tecnológica no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) que, posteriormente, foi transferida da universidade por meio do contrato de licenciamento para uso comercial pela empresa em um prazo de menos de três meses, mesmo considerando a complexidade do processo. A solução RecyclLib, segundo a empresa, a torna a primeira do mundo a ter uma solução completa de ciclo fechado para as baterias (envolvendo reuso e reciclagem) (AUIN, 2020).

A empresa também vem desenvolvendo parcerias comerciais com empresas do setor automotivo (BMW GROUP, 2022), solar fotovoltaico (NERIS, 2021) e armazenamento estacionário. O acordo com as empresas Aldo Solar e Japonesa Itochu Corporation tem por objetivo disponibilizar cerca de 1,2 MWh de baterias do tipo "Second Life" para o mercado brasileiro, podendo atingir até 1 MWh de fornecimento por mês ao longo do ano de 2022.

O projeto automotivo, em parceria com a BMW e a WEG, tem por objetivo o desenvolvimento de estação de recarga que utiliza 18 módulos de painéis solares em cobertura tipo garagem (Solar Carport) e 24 módulos de baterias usadas do BMW i3. De acordo com o CEO da Energy Source, o algoritmo desenvolvido pela empresa permite otimizar a seleção correta dos módulos das baterias aptos para processo de reuso "Second Life", viabilizando aumento da vida útil deste módulos em até dez anos.

C. Considerações finais: os limites e as possibilidades para a estruturação de uma cadeia de acumuladores de energia para ônibus elétricos no Brasil

Nesta seção, o desafio é buscar respostas sobre a real possibilidade para o desenvolvimento de uma cadeia de fornecimento de armazenamento de energia (baterias) no Brasil, considerando a necessária construção das capacidades de produção ao longo da cadeia de valor de baterias e a demanda potencial por ônibus elétricos em curto, médio e longo prazo.

Em primeiro lugar, do ponto de vista estritamente técnico, as possibilidades para a estruturação de uma cadeia de valor de baterias de íons de lítio no Brasil parecem ser favoráveis de início quando se considera a perspectiva da elevada dotação de recursos minerais do país e da região, além do potencial econômico do mercado de ônibus elétricos no Brasil. Do ponto de vista econômico e das políticas públicas, as perspectivas, contudo, ainda não parecem muito animadoras, pois existe uma série de barreiras que precisarão ser superadas, preferencialmente, de forma coordenada entre os setores público e privado em âmbito nacional, subnacional e local.

Sabe-se que região é um dos principais fornecedores de produtos processados de lítio para o mundo a partir de uma bem-sucedida experiência do Chile e da Argentina, tanto na exploração das ricas salmouras existentes em seus territórios quanto no esforço realizado pelo governo chileno em atrair investimentos

para a produção de precursores importantes para a produção de células de baterias. Tecnicamente, ainda há espaço para a exploração dos recursos minerais da Bolívia e alguns passos à frente na cadeia de agregação de valor poderão vir a ser trilhados pela Argentina, a exemplo da iniciativa chilena.

Nesse aspecto, nos últimos 3 anos, o Brasil avançou com a produção pioneira de especialidades químicas grau bateria com a CBL, a produção competitiva de lítio como coproduto de óxidos de tântalo por parte da AGM Brasil e com a iminente entrada de produção das operações da Sigma Mineração, além da perspectiva, em médio prazo, do aproveitamento comercial dos recursos minerais ora em avaliação pela australiana Latin Resources na chamada província do lítio, no nordeste do Estado de Minas Gerais. Além disso, tanto o Brasil quanto a região possuem reservas e produção de outros minerais críticos para a produção de baterias e veículos elétricos, como níquel, manganês, grafita e cobre, em particular.

Nesse sentido, é importante considerar a experiência da Austrália que também possui uma elevada dotação de recursos minerais, a partir da qual se tornou a maior exportadora de concentrados de espodumênio [rocha dura] para a China, mas que ainda não tem produção comercial de processados químicos grau bateria, de materiais precursores e tampouco de células, apesar de possuir uma ativa indústria de montagem de baterias por meio da importação de células e uma baixa atividade na área de reciclagem. Entre 2015 e 2020, quase 10 estudos foram realizados sobre o assunto na Austrália. No último deles, de forma bastante honesta, os autores não consideram competir em custo com a China na produção de células e baterias, tampouco vêm espaço em termos de políticas públicas de apoio ao setor para fazer frente aos vultosos subsídios públicos para mobilidade elétrica praticados pela China, Estados Unidos e Europa. Ou seja, não é somente uma questão puramente de mercado. O caminho vislumbrado pelos autores passa por desenvolver aplicações de nicho para mineração e defesa (BEST e VERNON, 2020). Neste ponto, é preciso considerar, contudo, que a população da Austrália representa pouco mais de 10% da população brasileira.

De algum modo, o cenário no Brasil tem similaridades e diferenças com aquele país, com a desvantagem de ter uma indústria de concentrados de lítio ainda em fase de maturação, uma produção incipiente de processados químicos grau bateria, a ausência de uma indústria de materiais precursores, de células e de seus componentes, mas, de igual modo, tem uma indústria ativa de montagem de baterias por meio da importação de células e, mais importante, com a vantagem de possuir uma demanda de modernização e de descarbonização do transporte coletivo, principalmente nos grandes centros urbanos de um país com mais de 200 milhões de habitantes.

Nesse sentido, entende-se que há limites técnicos, econômicos e de políticas públicas para o desenvolvimento de uma cadeia de valor de baterias de íons de lítio no Brasil. Superar ou contornar cada um destes limites deverá requerer um esforço de cooperação entre os setores privado e público para a definição de um arcabouço técnico, econômico e institucional que sinalize de forma indicativa, pelo menos, os grandes números de um cenário ou de cenários desejados em termos de políticas de transporte e de mobilidade urbana nacionais e subnacionais, em especial nos grandes centros urbanos, cidades polo e médias.

O esforço de cooperação pública e privada, necessariamente, deverá contemplar uma caixa de ferramentas para o financiamento e apoio à inovação da transição verde do setor de transporte coletivo público, o que poderá envolver crédito com condições mais favoráveis para o desenvolvimento de novos modelos de negócios, mercados, empregos e tecnologias verdes, como as já reconhecidas tecnologias de transporte por meio de biomassa (etanol e biodiesel), mas também para as tecnologias de mobilidade urbana por meio dos novos sistemas de armazenamento e de tração elétrica viabilizados por baterias de íons de lítio de alta tensão.

Enfim, a resposta não é se o Brasil terá uma cadeia de fornecimento de baterias de íons de lítio, mas sim se o país está disposto a fazer o dever de casa e estabelecer metas e incentivos que mobilizem suas forças produtivas e políticas nessa direção. O conjunto de estratégias passa, sem uma ordem de prioridade ou precedência rígida, pela definição de políticas públicas de descarbonização; difusão de modelos inovadores de contratação de serviços de transporte coletivo; incentivos coordenados para o estabelecimento e ampliação das plantas de montagem de baterias de íons de lítio, inicialmente com base em importação de células; e, gradualmente, reavaliar o potencial de investimento para a produção doméstica de precursores e/ou de células a partir de complementaridades econômicas pré-existentes na região em termos das capacidades de produção a montante da cadeia de valor de baterias e da demanda por bens de transporte coletivo de baixo carbono no Brasil e na América do Sul.

V. Comparação entre as cadeias diesel & elétrico: maturidade e implicações para o investimento em P&D, linhas de produção/montagem e competências em engenharia de produto/manufatura

O objetivo deste capítulo é empreender uma análise comparativa entre as diferentes cadeias, diesel & elétrico, a partir das perspectivas de competências e manufatura destas cadeias, considerando os investimentos em pesquisa e desenvolvimento e nas linhas de produção e montagem, bem como nas competências em engenharia de produto e processo/manufatura.

Este exercício habilita uma melhor compreensão dos diferentes estágios de maturidade destas cadeias e nos permite identificar onde investimentos, desenvolvimento de competências e ações tornam-se imperativos e perceptíveis para a cadeia nascente (elétricos). Logo, este diagnóstico é necessário e se configura como a base para a formulação das agendas estratégicas (Capítulo seguinte).

O presente capítulo oferece uma síntese comparativa entre os diferentes sistemas de propulsão (diesel & elétrico) e seus componentes relacionados. Com certo ineditismo na literatura nacional relacionada aos estudos do setor de ônibus urbanos, apresenta-se aqui um exercício que conjuga e compara o arcabouço de evidências e conhecimentos levantados pelos capítulos precedentes.

Como ponto de partida desta análise, a lista na sequência retoma as principais características dos sistemas e componentes alvo deste estudo, discutidos nos capítulos II, III e IV. Também se destacam as diferenças entre eles e potenciais semelhanças, quando aplicável.

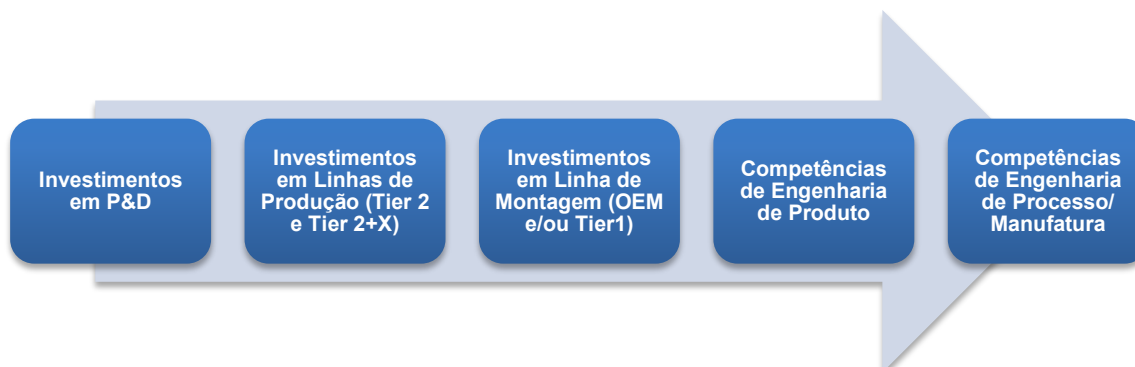
Quadro 49
Sistemas veiculares diesel & elétrico presentes nas cadeias produtivas de ônibus urbanos

Sistema de Propulsão	Powertrain. No caso do veículo a diesel, é representado pela máquina térmica e no caso do ônibus eletrificado, pelo motor elétrico
Sistemas de Exaustão e Pós-Tratamento	Sistema de escape dos gases gerados a partir da queima do combustível, bem como seu pós-tratamento necessário antes de ser expelido para atmosfera (exclusivo do MCI)
Sistema de Transmissão	Sistemas e componentes necessários para transmitir a força gerada pelos motores às rodas, alcançando a tração veicular
Sistema de Direção	Conjunto de tecnologias que ligam a condução do motorista à resposta do veículo
Sistema Elétrico (considera os três conjuntos de itens que seguem)	
Baixa Tensão - Chicotes, Módulos Eletrônicos	Cabeamento elétrico para sistemas auxiliares, tais como faróis, alarmes, multimídia e outros dispositivos de baixa tensão
Alta tensão - Chicotes, Inversores	Cabos direcionados aos veículos elétricos, pois operam em alta voltagem que respondem as demandas da tração elétrica e fluxo de energia entre bateria, inversor e máquina elétrica
Semicondutores	Chips, placas, circuitos e condutores eletrônicos
Bateria (considera os três conjuntos de itens que seguem)	
Células	Unidade elementar de uma bateria, contendo uma estrutura com ânodo, cátodo e separador, com carga e descarga de corrente elétrica
Módulos	Conjugação de várias células conectadas que integram um módulo único
Pacote	Estrutura na forma de pacote que aglutina e conecta diferentes módulos
Sistema de Eixos (considera os dois conjuntos de itens que seguem)	
Eixo dianteiro	Eixo frontal veicular e suas respectivas rodas
Eixo traseiro	Semelhante ao sistema anterior, só que localizado na parte de trás do veículo
Sistema de Freios	Tecnologias necessárias para desaceleração e frenagem veicular
Sistema de Suspensão	Componentes associados à suspensão e amortecimento
Sistema de Conforto Térmico	Dispositivos necessários para o equilíbrio de temperatura adequado ao passageiro e motorista

Fonte: Elaboração própria.

Para a análise dos sistemas mencionados acima, utilizam-se categorias desenvolvidas a partir da literatura e da experiência dos consultores, às quais remetem aos estágios necessários para desenvolvimento e manufatura de produtos. A figura na sequência apresenta as 5 categorias de análise utilizadas e em torno das quais o texto deste capítulo está estruturado.

Figura 13
Prismas de análise dos sistemas veiculares diesel & elétrico



Fonte: Elaboração própria.

Há que se ponderar que estas categorias serão comparadas tanto do ponto de vista qualitativo—isto é, a partir de comentários e avaliações dos pesquisadores envolvidos no estudo, entrevistas e evidências coletadas—como do ponto de vista quantitativo— a partir de notas atribuídas à cada categoria, de acordo com o sistema veicular associado.

Ao se atribuir valores numéricos (notas), pode-se revelar a necessidade de investimentos e a necessidade de criação de diversas competências. Ou, pelo contrário, as notas podem revelar também a existência de competências na cadeia, o que não implica, neste caso, na necessidade de investimentos.

A organização e racionalidade destas notas segue os parâmetros estabelecidos no quadro abaixo, que define o critério para cada classificação.

Quadro 50
Definição das notas para a análise comparativa e seus critérios

Nota	Parâmetro estabelecido para a classificação relacionada
-2	Inexistência ou necessidade severa de investimentos e criação de competências
-1	Baixa Existência ou pouca necessidade de investimentos/ criação de competências
-	Não aplicável a categoria. Remete as particularidades dos sistemas Diesel ou Elétrico
1	Existência Parcial ou alguma necessidade de investimentos ou criação de competências
2	Existência Plena de investimentos já realizados ou em curso considerando competências estabelecidas

Fonte: Elaboração própria.

Na sequência, partiremos então para uma análise de cada uma dessas categorias especificamente considerando aquele conjunto de sistemas existentes na cadeia produtiva de ônibus urbanos (diesel e elétrico).

A. Investimentos em P&D

A Pesquisa e Desenvolvimento é a atividade rotineira e sistematizada que tem por objetivo alcançar a pesquisa científica, pesquisa aplicada, desenvolvimento experimental e por fim, a inovação, entendida como a introdução no mercado de um novo produto ou solução²⁵. De fato, a P&D pode ser interpretada como motor do desenvolvimento e competitividade das empresas, na busca por novos produtos e serviços para seus clientes. No caso do ônibus urbano elétrico, é o tipo de atividade que proporciona criar melhores soluções e tecnologias para essa aplicação, que sejam aderentes a cada contexto e mercado direcionado. O Quadro 50 exprime a comparação entre as cadeias observadas no tocante a esta categoria.

Quando olhamos para Pesquisa & Desenvolvimento do sistema de propulsão, fica evidente que a cadeia produtiva do setor de pesados, ônibus e caminhões, vem se preparando e se qualificando há mais de cinco anos para a entrada do P8 (Euro 6), vide cronograma PROCONVE estabelecido previamente. Neste caso, então, podemos ver uma cadeia já preparada e com investimentos já realizados para a entrada dessa tecnologia.

Para os veículos elétricos, o cenário é um pouco diferente: existem investimentos na cadeia, sim, realizados principalmente pela empresa nacional WEG, mas em ordem de grandeza menor e sobretudo protagonizado por este ator, especificamente. Assim, entende-se que para o powertrain elétrico, a P&D nacional está muito focada e liderada por um player e não capilarizada por outras empresas, como é no caso da cadeia de veículos a diesel.

²⁵ Para maior detalhamento acerca das atividades de P&D e sua tipologia associada, consultar: ORGANIZAÇÃO DE COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Manual de Frascati: metodologia proposta para levantamentos sobre pesquisa e desenvolvimento experimental. São Paulo: F-INICIATIVAS P+D+I, 2013. 324 p.

No âmbito do sistema de exaustão, claramente, para o elétrico não se aplica, devido a sua característica tecnológica zero emissão. Para o sistema a diesel, também se enxerga os investimentos realizados em linha ao P8, para atender as suas exigências e critérios relacionados a maior restrição de emissões de gases poluentes.

No caso do sistema de transmissão, essa atividade de P&D inclina-se mais à adaptação de componentes existentes aos contextos e realidades locais, do que ao genuíno desenvolvimento de novos produtos. No caso do ônibus elétrico, a transmissão é simplificada, logo, não demanda o mesmo esforço e volume de investimento.

Numa linha de impactos menores, vemos que o sistema de direção, por exemplo, não sofre grandes alterações nos veículos a diesel e elétrico. Na verdade, trata-se mais de uma sofisticação que tem como ponto de chegada o sistema elétrico hidráulico, ao invés do hidráulico mecânico. Ou seja, as cadeias compartilham destas tecnologias nesse caso.

Com relação aos sistemas elétricos, considerando os cabos e conectores para aqueles de baixa tensão, observa-se a mesma dinâmica tecnológica e que ambas as cadeias (a diesel e elétricos) compartilham dos investimentos outrora já feitos. Contudo, para alta tensão, há uma diferença importante, pois não se aplica ao sistema diesel e, por outro lado, faltam investimentos em P&D nessa linha para ônibus elétricos no Brasil. Além disso, há uma grande lacuna de investimentos em semicondutores, já que não se identificam produtos em desenvolvimento específicos para os ônibus, em ambas as cadeias.

Quadro 51
Comparação estratégica entre os sistemas veiculares diesel & elétrico: Investimentos em P&D

	Investimentos em P&D		
	Diesel P8	Elétrico	Comentários
Sistema de Propulsão	2	1	Para o Diesel, há historicamente projetos de P&D, com recente foco nos desenvolvimentos que preparam a homologação para o P8. Para o Elétrico, WEG tem feito grandes investimentos (ex. E-Delivery, Produtos Eletra, entre outros), ressaltando-se que estes investimentos não são comparáveis em magnitude ao Diesel - que representa a cadeia atual.
Sistemas de Exaustão e Pós-Tratamento	2	-	Os desenvolvimentos se voltam a atender a emissões de poluentes cada vez mais restritas, tendo também a demanda em acomodar variações de conteúdo de enxofre no Diesel e misturas de Biodiesel.
Sistema de Transmissão	-1	-2	Para o powertrain à Diesel, os projetos têm característica global, com desdobramento nas diversas regiões tendo alguns ajustes para aplicação local. Os sistemas de transmissão para os ônibus elétricos são menos complexos que dos veículos à combustão e não demandam o mesmo esforço de P&D.
Sistema de Direção	-1	1	PROCONVE P8 não repercutiu em grandes alterações do sistema de direção. Para o Elétrico, algumas montadoras e fornecedores já desenvolveram sistemas de direção elétrica-hidráulica para os ônibus, como Mercedes e ZF.
Sistema Elétrico			
Baixa Tensão-Chicotes, Módulos Eletrônicos	1	1	A arquitetura dos sistemas de baixa tensão para o powertrain a Diesel e Elétrico são bastante similares, com tendência crescente de agregação de novas cargas e conseqüentemente maior demanda de potência.
Alta tensão - Chicotes, Inversores	-	-1	Segundo entrevistas e fontes secundárias, faltam investimentos em P&D nos sistemas de alta tensão dos ônibus elétricos.
Semicondutores	-2	-2	Não há atividade de projetos de P&D.
Bateria			
Materiais - Concentrado de Espodumênio [mineral de Lítio]	-	-1	Há lacuna de densidade de P&D no país.
Materiais - especialidades químicas [Carbonato e Hidróxido de Lítio]	-	-1	Há lacuna de densidade de P&D no país.
Materiais precursores para eletrólito e catodo [óxido de lítio]	-	-1	Há lacuna de P&D no país.

Investimentos em P&D			
	Diesel P8	Elétrico	Comentários
Células	-	-1	Há iniciativas esparsas de P&D no país Há lacuna de densidade e de coordenação de P&D no país
Módulos	-	-1	Há iniciativas esparsas de P&D no país Há lacuna de densidade e de coordenação de P&D no país
Pacote	-	-1	Há iniciativas esparsas de P&D no país Há lacuna de densidade e de coordenação de P&D no país
Sistema de Eixos			
Eixo dianteiro	1	1	Para o Diesel, há busca constante de aplicação de novos materiais e processos e otimização de componentes e conjuntos Para o Elétrico, potencialmente haverá aplicação do mesmo conceito de eixo dianteiro já aplicado nos veículos à Diesel
Eixo traseiro	1	-2	Para o Diesel, há busca constante de aplicação de novos materiais e processos Para o Elétrico, há projetos desenvolvidos em outras regiões em que estão sendo migrados ao país, mas ainda com incipiência de P&D local
Sistema de Freios	-1	-1	Há tendência de manutenção do conceito do sistema de freio, sem densidade de P&D local
Sistema de Suspensão	-1	-1	Há tendência de manutenção do conceito do sistema de suspensão, sem densidade de P&D local
Sistema de Conforto Térmico	1	1	Para o Diesel, há projetos para otimização energética com vistas a obter a redução de consumo de combustível do veículo Para o Elétrico, empresas como Rehen, Valeo Thermal Systems e Innovaklim possuem investimentos no desenvolvimento de sistemas avançados de HVAC para ônibus elétricos

Fonte: Elaboração própria.

Na parte das baterias residem as grandes diferenças entre as duas cadeias. Para aquela a diesel, não se aplica esta tecnologia, ao passo que para a cadeia “elétrica” este artefato é fundamental e crítico para o produto final. E neste quesito, há uma lacuna evidente de P&D envolvendo materiais necessários para baterias. No caso das células, existem projetos pontuais que foram identificados, assim como iniciativas relacionadas aos módulos e pacote de baterias, com algum tipo de densidade e prospecção em alguns centros de pesquisa. No entanto, são iniciativas incipientes, numa envergadura aquém do que se espera para desenvolver uma dinâmica de mercado dedicada aos ônibus elétricos.

Por fim, para os sistemas de eixos, freios, suspensão e conforto térmico, as características e propriedades tecnológicas se mantêm e são compartilhadas pelas duas cadeias. A exceção aqui diz respeito ao eixo traseiro, uma vez que no ônibus elétrico existe uma necessidade de sofisticação de aplicação, demandando investimentos que ainda não se verificam no Brasil, mas que no caso de veículos a diesel, foram observados.

B. Investimentos em Linhas de Produção (Tier 2 e Tier 2+X)

Como visto nos capítulos precedentes, a cadeia pode ser dividida em níveis, denominados Tiers. O Tier é o fornecedor que comercializa diretamente para as montadoras. Normalmente é um sistemista (integrador de componentes) que fornece o sistema completo. O Tier 2, por exemplo, vende para o Tier 1. E, nessa direção, a cadeia se segue: o Tier 3, sendo um fabricante de componentes e/ou de peças, fornece seus produtos ao Tier 2 até chegar a OEM. No quadro a seguir, demonstra-se a análise comparativa relacionada a essas categorias especificamente.

No caso dos fornecedores da cadeia, os pontos altos de investimento referem-se ao sistema de exaustão e pós-tratamento, decorrente da implementação do Proconve P8, bem como na linha dos materiais concentrados de espodumênio, no âmbito das baterias. Neste último, estratégico para os ônibus elétricos, destacam-se os investimentos feitos pela companhia brasileira de lítio Sigma, por exemplo e aqueles feitos na prospecção em pesquisa geológica na região de Minas Gerais.

Ainda na linha das Baterias, no âmbito dos materiais precursores por eletrólise e cátodo, observa-se que não há investimentos em curso no país, o que prejudica o posicionamento nacional e as possibilidades de produção de baterias localmente.

Quadro 52
Comparação estratégica entre os sistemas veiculares diesel & elétrico: Investimentos em Linhas de Produção (Tier 2 e Tier 2+X)

Investimentos em Linhas de Produção (Tier 2 e Tier 2+X)			
	Diesel P8	Elétrico	Comentários
Sistema de Propulsão	1	1	Alterações em componentes e seus processos são imperativos para o P8 A adequação dos componentes para a máquina elétrica embarcada se faz necessária a fim de cumprir os requisitos da aplicação (redução de volume, massa etc.), vide caso da WEG
Sistemas de Exaustão e Pós-Tratamento	2	-	Investimentos decorrentes da implementação da fase PROCONVE P8 (2023)
Sistema de Transmissão	-1	-2	Para o Diesel, uma vez que as peças das novas famílias de transmissões são similares as dos projetos antecessores, não são requeridos grandes investimentos por parte dos fornecedores, salvo em casos de ampliação de capacidade das linhas de produção Para o caso dos Elétricos, tipicamente, não são demandados grandes investimentos por parte dos fornecedores, pois o foco majoritário se dá nas caixas de reduções, que por conceito são menos complexas
Sistema de Direção	-1	-	PROCONVE P8 não repercute em grandes alterações do sistema de direção Não foram encontradas informações acerca desse elo da cadeia
	Diesel P8	Elétrico	Comentários
Sistema Elétrico			
Baixa Tensão -Chicotes, Módulos Eletrônicos	1	1	Fornecedores são similares aos dois sistemas, embora haja um gargalo nos semicondutores, principal insumo dos módulos eletrônicos
Alta tensão - Chicotes, Inversores	-	-1	Nas entrevistas (WEG), ficou evidente que os componentes de alta tensão são um gargalo na cadeia produtiva, como por exemplo: ímãs de terras raras e semicondutores
Semicondutores	-2	-2	Não há produção local de semicondutores
Bateria			
Materiais -Concentrado de Espodumênio [mineral de Lítio]	-	2	Há investimentos já realizados - CBL e AGM Há investimentos em produção curso - Sigma Há investimentos em pesquisa geológica em curso - Latin Resources
Materiais - especialidades químicas [Carbonato e Hidróxido de Lítio]	-	1	Há a iniciativa pioneira da CBL É provável que AGM e Sigma venham a realizar investimentos em médio prazo
Materiais precursores para eletrólito e catodo [óxido de Lítio]	-	-2	Não há investimento em curso no país
Células	-	-1	Há movimentação inicial de atores e anúncio de investimentos, vide Bravo Motor Company e Rockwell Automation ^a
Módulos	-	-	Sem comentários direcionados
Pacote	-	-	Sem comentários direcionados
Sistema de Eixos			
Eixo dianteiro	1	1	Para o Diesel, há investimentos em processos de forjamento e tratamentos térmicos Para o Elétrico, potencialmente haverá aplicação do mesmo conceito de eixo dianteiro já aplicado nos veículos à Diesel
Eixo traseiro	1	-2	Para o Diesel, há investimentos em processos de conformação e usinagem Para o Elétrico, não há produção local
Sistema de Freios	-1	-1	Não há previsão de investimentos relevantes em linhas de produção
Sistema de Suspensão	-1	-1	Não há previsão de investimentos relevantes em linhas de produção
Sistema de Conforto Térmico	-1	-1	Para o Diesel, salvo as situações de aumento de capacidade de produção, não há investimentos relevantes Sem informações sobre esse elo da cadeia, embora já existam produtos sendo oferecidos no mercado, não se sabe se os componentes serão produzidos localmente

Fonte: Elaboração própria.

^a Ver, a esse respeito, <https://ir.rockwellautomation.com/press-releases/press-releases-details/2022/Rockwell-Automation-announces-a-partnership-with-Bravo-Motor-Company-/default.aspx>.

C. Investimentos em Linha de Montagem (OEM e/ou Tier1)

Neste ponto, a análise se volta ao OEM. Conforme viu-se, é a sigla de Original Equipment Manufacturer, ou “Fabricante Original do Equipamento” (tradução nossa). Refere-se amplamente às montadoras que integram os sistemas fornecidos pelos Tiers e que montam os ônibus urbanos. O quadro na sequência apresenta a comparação entre os investimentos em linhas de montagem nos sistemas a diesel e elétricos, respectivamente.

Quadro 53
Comparação estratégica entre os sistemas veiculares diesel & elétrico: Investimentos em Linha de Montagem (OEM e/ou Tier1)

Investimentos em Linha de Montagem (OEM e/ou Tier1)			
	Diesel P8	Elétrico	Comentários
Sistema de Propulsão	-1	1	Adequações das linhas de montagens dos veículos são menos sensíveis à introdução do P8, em que as alterações se voltam majoritariamente ao motor Diesel Adequações de montagens são demandadas para a máquina elétrica, em que se cumprem requisitos de manufatura e qualidade
Sistemas de Exaustão e Pós-Tratamento	2	-	Investimentos decorrentes da implementação da fase PROCONVE P8 (2023)
Sistema de Transmissão	-1	-2	Para o Diesel, uma vez que as peças das novas famílias de transmissões são similares as dos projetos antecessores, não são requeridos grandes investimentos em montagem, salvo em casos de ampliação de capacidade das linhas de montagem Não existem informações sobre transmissões para ônibus elétricos fabricadas no país, até o momento
Sistema de Direção	-1	-	PROCONVE P8 não repercute em grandes alterações do sistema de direção Não foram encontradas informações acerca desse elo da cadeia
Sistema Elétrico			
Baixa Tensão - Chicotes, Módulos Eletrônicos	1	1	Para a cadeia Diesel, há amplitude de atuação de atores como Bosch, Delphi, Magnetti Marelli e Continental e potencialmente podem atuar na cadeia do Elétrico Para o Elétrico, já existem algumas empresas nesse mercado, como a Globus electronics e a própria WEG com soluções de eletrônica embarcada
Alta tensão - Chicotes, Inversores	-	1	A WEG faz a montagem de sistemas de alta tensão
Semicondutores	-2	-2	Não há produção local de semicondutores
Bateria			
Materiais - Concentrado de Espodumênio [mineral de Lítio]	-	-	Sem comentários direcionados
Materiais - especialidades químicas [Carbonato e Hidróxido de Lítio]	-	-	Sem comentários direcionados
Materiais precursores para eletrólito e catodo [óxido de lítio]	-	-2	Não há investimento em curso no país
Células	-	-1	Há movimentação inicial de atores e anúncio de investimentos, vide Bravo Motor Company e Rockwell Automation [https://ir.rockwellautomation.com/press-releases/press-releases-details/2022/Rockwell-Automation-announces-a-partnership-with-Bravo-Motor-Company-/default.aspx]
Módulos	-	1	Há posicionamento da Moura, com montagem local de módulos, homologada pela CATL Há posicionamento da BYD, com montagem local de módulos [pede-se conferir!]
Pacote	-	1	Há posicionamento da Moura, com montagem local do pacote, homologada pela CATL Há posicionamento da BYD, com montagem local de módulos [pede-se conferir!]
Sistema de Eixos			
Eixo dianteiro	-1	-1	Para ambos os casos, as alterações de produto atuais não têm repercutido em alterações expressivas nas linhas de montagem
Eixo traseiro	-1	1	Para o Diesel, as alterações de produto atuais não têm repercutido em alterações nas linhas de montagem Para o Elétrico, há linhas de montagens em que se aplicam eixos em chassis como BYD, Eletra e Mercedes

Investimentos em Linha de Montagem (OEM e/ou Tier1)			
	Diesel P8	Elétrico	Comentários
Sistema de Eixos			
Sistema de Freios	-1	-1	Não há previsão de investimentos relevantes em linhas de montagem
Sistema de Suspensão	-1	-1	Não há previsão de investimentos relevantes em linhas de montagem
Sistema de Conforto Térmico	-1	1	Para o Diesel, salvo as situações de aumento de capacidade de montagem, não há investimentos relevantes Já existem empresas com produtos sendo oferecidos no catálogo, como Rehen e Valeo Thermal Bus

Fonte: Elaboração própria.

Como ponto de destaque do quadro anterior, observa-se que, para o sistema de propulsão, os investimentos em linha de montagem são menores para o sistema diesel, pois o P8 Euro 6 se adequa e absorve, muito bem, as linhas de montagem previamente estabelecidas. Já no caso do elétrico, sendo esta uma nova rota tecnológica, algum tipo de investimento tem sido empreendido em linha às adequações que se fazem necessárias.

Outro ponto a se considerar é novamente o destaque da WEG, empresa que conta com soluções de eletrônica de embarcada, sistemas de baixa tensão e até mesmo montagem de sistema de alta tensão, o que lhe proporciona protagonismo como fornecedora de componentes no cenário da eletrificação de ônibus no Brasil. Esta empresa tem sido fundamental para a alavancagem de projetos e produtos relacionados.

D. Competências de Engenharia de Produto

Nesta seção, comparam-se as competências da engenharia de produto dos ônibus urbanos. Assim, volta-se o olhar para a atividade de engenharia que projeta e melhora os componentes e sistemas dos ônibus urbanos, lidando com os aspectos de custo, qualidade, desempenho, confiabilidade, capacidade de manutenção, vida útil prevista e outros. O quadro a seguir sintetiza a análise comparativa relacionada aos sistemas a diesel e elétrico.

Quadro 54
Comparação estratégica entre os sistemas veiculares diesel & elétrico: Competências de Engenharia de Produto

Competências de Engenharia de Produto			
	Diesel P8	Elétrico	Comentários
Sistema de Propulsão	2	1	Para o motor Diesel, há relevante legado no desenvolvimento de famílias de motores com novas estratégias de combustão, injeção e pós-tratamento de gases. O projeto do motor básico (árvore de manivelas, bielas, bloco, cabeçote) mantém tipicamente o desenvolvimento compartilhado com hubs de desenvolvimento de outras regiões Para o motor Elétrico há vasto conjunto de competências de Engenharia. Tem-se criado maturidade nas aplicações veiculares embarcadas, que tem como requisitos: redução de massa, redução de volume e aumento de eficiência
Sistemas de Exaustão e Pós-Tratamento	2	-	Amplo desenvolvimento de know-how oriundos da fase P7 (EGR ou SCR)
Sistema de Transmissão	2	1	Há maturidade de engenharia para aplicações no powertrain à Diesel Para as aplicações nos Elétricos pode-se afirmar que as competências existentes se devem à expertise de empresas com desenvolvimento desses produtos no mercado global, como ZF e Eaton, além de similaridades com os produtos fornecidos para os ônibus à Diesel
Sistema de Direção	2	-1	Há existência de grande maturidade no sistema atual, majoritariamente hidráulico Mesmo que empresas como a ZF já possuam competências de engenharia de produto em direções elétrica-hidráulicas para ônibus, não se faz claro se essas competências já estão presentes no Brasil

Competências de Engenharia de Produto			
	Diesel P8	Elétrico	Comentários
Sistema Elétrico			
Baixa Tensão - Chicotes, Módulos Eletrônicos	2	1	Há grande maturidade da cadeia Diesel em que se observa o constante aumento de sistemas eletrônicos embarcados, como sistemas de assistência ao motorista, infotainment etc. Para o Elétrico, empresas como a Globus eletronic e a própria WEG já possuem alguns desses sistemas com desenvolvimento local
Alta tensão - Chicotes, Inversores	-	1	A WEG oferece sistemas e possui competências de engenharia de produto
Semicondutores	1	1	Para ambos os casos há competências para a especificação de semicondutores
Bateria			
Materiais - Concentrado de Espodumênio [mineral de Lítio]	-	2	Há competências em centros especializados [CETEM e Universidades] Há competências nas empresas de mineração
Materiais especialidades químicas [Carbonato e Hidróxido de Lítio]	-	2	Há competências em centros especializados [CETEM e Universidades] Há competências nas empresas de mineração
Materiais precursores para eletrólito e catodo [óxido de lítio]	-	-2	Não há competências
Células	-	-2	Não há competências
Módulos	-	-2	Não há competências
Pacote	-	-2	Não há competências
Sistema de Eixos			
Eixo dianteiro	2	2	Há larga experiência do produto aplicado no Diesel, em que serão desdobradas competências para o Elétrico
Eixo traseiro	2	-1	Há vasta experiência com o sistema aplicado nos veículos Diesel Para o Elétrico, demanda-se ainda transferência de competência de produtos desenvolvidos em outras regiões
Sistema de Freios	2	2	Há competência histórica no desenvolvimento de sistemas de freios e sistemas auxiliares (ABS, ESP)
Sistema de Suspensão	2	2	Há competência histórica no desenvolvimento de sistemas de suspensão
Sistema de Conforto Térmico	2	1	Para o Diesel e Elétrico há competências de produto comuns e os requisitos técnicos são similares, em que há grande foco na otimização energética do sistema

Fonte: Elaboração própria.

Aprofundando a análise por competências, e olhando aquelas relacionadas à engenharia de produto, é nesta vertente que se enxerga o amplo protagonismo do complexo automotivo nacional nos sistemas a diesel. Há um acúmulo de mais de 30 anos de criação de capacidades e de mão de obra sofisticada para o desenvolvimento de soluções para o Brasil.

Todo esse legado que conforma este paradigma tecnológico se apresenta no sistema de propulsão, sistemas de exaustão, transmissão e direção. Ou seja, as competências de engenharia de produto não são únicas, ou, direcionadas a um sistema, mas referem-se praticamente a todos os componentes do sistema a diesel. No caso dos sistemas elétricos, especificamente, enxerga-se certa maturidade, sim, que é evidenciada pelos projetos em andamento em ônibus e caminhões, por exemplo, mas com dimensões menores de competências locais, às quais ainda passam por um processo de formação no país.

Um ponto forte no sistema veicular elétrico é a competência em curso em centros especializados como ITEM, por exemplo, no que se refere aos materiais como hidróxido de lítio, utilizados nas baterias. Por outro lado, não se observam competências direcionadas aos materiais mais avançados como células, módulos e seus pacotes, e manifesta-se algum desprovimento de engenharia de produtos nesses componentes das baterias.

Para os outros sistemas como eixos, freios, suspensão, verificam-se competências históricas e legados relacionados ao sistema diesel que podem ser compartilhados com o sistema elétrico, pois referem-se a tecnologias sinergistas e viabilizadoras de ambas as cadeias.

E. Competências de Engenharia de Processo/Manufatura

Nesta seção, comparam-se as competências da engenharia de produto dos ônibus urbanos. Assim, volta-se o olhar para a atividade de engenharia que projeta e melhora os componentes e sistemas dos ônibus urbanos, lidando com os aspectos de custo, qualidade, desempenho, confiabilidade, capacidade de manutenção, vida útil prevista e outros. O quadro a seguir sintetiza a análise comparativa relacionada aos sistemas a diesel e elétrico.

Quadro 55
Comparação estratégica entre os sistemas veiculares diesel & elétrico:
Competências de Engenharia de Processo/Manufatura

	Competências de Engenharia de Processo/Manufatura		
	Diesel P8	Elétrico	Comentários
Sistema de Propulsão	2	1	Para o motor Diesel, há processos de produção e montagem plenamente estabelecidos Para o motor Elétrico, os fornecimentos para modelos já presentes no mercado, explicitam o desenvolvimento dos processos de produção e montagem
Sistemas de Exaustão e Pós-Tratamento	2	-	Amplio desenvolvimento de know-how oriundos da fase P7 (EGR ou SCR)
Sistema de Transmissão	2	1	Há maturidade de engenharia para aplicações no powertrain à Diesel Para as aplicações nos Elétricos pode-se afirmar que as competências existentes se devem à expertise de empresas com desenvolvimento desses produtos no mercado global, como ZF e Eaton, além de similaridades com os produtos fornecidos para os ônibus à Diesel
Sistema de Direção	2	-1	Há competências em manufatura bem estabelecidas Não há know-how local de processo/manufatura plenamente estabelecido até o momento
Sistema Elétrico			
Baixa Tensão - Chicotes, Módulos Eletrônicos	2	1	Para o Diesel, os processos de manufatura são estabelecidos e bem conhecidos Para o Elétrico, ressalta-se que empresas como a Globus electronics e a própria WEG já possuem alguns desses sistemas com desenvolvimento local
Alta tensão - Chicotes, Inversores	-	1	A WEG oferece sistemas e possui competências de engenharia de manufatura
Semicondutores	-2	-2	Para ambos os casos, não há cadeia local, o que acarreta desafios de fornecimento de eletrônica embarcada
Bateria			
Materiais - Concentrado de Espodumênio [mineral de Lítio]	-	2	Há competências em centros especializados [CETEM e Universidades] Há competências nas empresas de mineração
Materiais - especialidades químicas [Carbonato e Hidróxido de Lítio]	-	2	Há competências em centros especializados [CETEM e Universidades] Há competências nas empresas de mineração
Materiais precursores para eletrólito e catodo [óxido de lítio]	-	-2	Não há competências
Células	-	-2	Não há competências
Módulos	-	-2	Não há competências
Pacote	-	-2	Não há competências
Sistema de Eixos			
Eixo dianteiro	2	2	Há larga experiência com os processos de manufatura aplicados ao produto que equipa os veículos à Diesel e que terão competências desdobradas ao Elétrico

Competências de Engenharia de Processo/Manufatura			
	Diesel P8	Elétrico	Comentários
Eixo traseiro	2	-1	Há vasta experiência com o sistema aplicado nos veículos Diesel Para o Elétrico, demanda-se ainda transferência de competência dos processos de manufatura já aplicados em outras regiões em sinergia com o know-how local
Sistema de Freios	2	2	Há competência histórica no desenvolvimento de processos de manufatura de sistemas de freios e sistemas auxiliares (ABS, ESP)
Sistema de Suspensão	2	2	Há competência histórica no desenvolvimento de processos de manufatura de sistemas de suspensão
Sistema de Conforto Térmico	2	1	Para o Diesel e Elétrico há competências de manufatura comuns e os requisitos de processo são similares, em que há grande foco na racionalização dos materiais e processos objetivando a redução de custo

Fonte: Elaboração própria.

Assim como visto nas competências de engenharia de produto, a ampla expertise no âmbito dos processos de manufatura se coloca como evidente no sistema a diesel. Neste sistema, verificam-se processos de produção e montagem amplamente estabelecidos, com bastante maturidade da engenharia nacional. Como visto, isso também é um legado da vasta experiência em projetos, que favorecem o protagonismo da indústria nacional nesse sistema.

Na mesma linha, também é possível enxergar as lacunas existentes no sistema elétrico, que apontam para oportunidades de aperfeiçoamento no que se refere ao sistema de propulsão, transmissão e, mais criticamente, na latente necessidade de competências em engenharia de manufatura para com as células, módulos e pacote de baterias.

F. Considerações finais: as diferenças de prontidão tecnológica entre as cadeias de ônibus a diesel & elétrico no Brasil

Este Capítulo apresentou uma análise comparada da maturidade das cadeias de veículos a diesel e elétricos, relativa a seus sistemas embarcados, e das implicações em termos de investimentos e formação de competências locais.

Destacou-se que uma das principais diferenças entre as duas cadeias diz respeito aos seus respectivos componentes críticos. Para a cadeia a diesel, os sistemas de propulsão, transmissão e exaustão são aqueles mais cruciais; no caso da cadeia de veículos elétricos, a bateria e seus componentes relacionados se tornam críticos. Além disso, o próprio sistema de propulsão elétrico e transmissão demonstraram maior simplicidade tecnológica em comparação com aqueles presentes nos modelos a combustão.

Ficou evidente com este exercício analítico que a cadeia produtiva nacional dos ônibus urbanos demonstra notáveis competências e ampla trajetória de investimentos já empreendidos anteriormente na tecnologia diesel. Este legado, que acumula mais de 30 anos, fortaleceu e consolidou este sistema tecnológico e conformou este enquadramento de paradigma tecnológico.

Nestes mais de 30 anos de rota tecnológica, a utilização de economias de escala na fabricação de motores proporcionou a diminuição gradativa dos custos produtivos. Ganhos de aprendizado foram acumulados, obtidos através da experiência de produção e know-how. Estes fatores exerceram influência direta nas notas atribuídas (apresentadas nos quadros anteriores) relacionadas às plenas competências e investimentos já realizados neste sistema diesel.

Como observado, a cadeia produtiva de ônibus diesel trata-se de uma rede complexa com múltiplos sistemas e componentes, composta por diferentes tipos de atores e empresas. Incluem-se nesta rede também os atores responsáveis pela manutenção do motor a combustão interna, como a infraestrutura de abastecimento dos ônibus (postos de combustíveis) e as oficinas e centros

especializados em calibragem e manutenção mecânica. O sucesso do motor a combustão interna deu-se mediante a integração das empresas que compunham toda a cadeia automobilística, cada uma com suas respectivas competências.

Em relação à cadeia de ônibus elétricos, foi possível também identificar competências estabelecidas. Essas competências posicionam-se, sobretudo, na parte da cadeia relacionada ao sistema de propulsão, conhecido como os motores elétricos. Essas competências acumuladas se beneficiam e se apropriam da produção e aplicação ampla de motores elétricos em outros contextos, como no segmento Industrial, por exemplo. Ainda que sejam aplicações com propósitos diferentes (Industrial vs mobilidade elétrica) trata-se de tecnologias semelhantes e que compartilham da mesma base de conhecimento. Logo, este arcabouço de competências de outros setores transborda também para aplicação no sistema veicular elétrico.

Nesse sentido, viu-se o protagonismo de uma empresa individual neste setor, a WEG, que é responsável pelo maior conjunto de competências na cadeia do elétrico em seus sistemas. Caso não houvesse a WEG no país, hipoteticamente, pensar numa cadeia produtiva de ônibus elétrico seria uma tarefa de difícil execução, num cenário sem políticas públicas. Esta empresa tem sido fundamental para a alavancagem de projetos e produtos relacionados na cadeia de elétricos.

As maiores lacunas que apontam para a necessidade de investimento foram identificadas no âmbito das baterias, componentes críticos para a cadeia. Aspectos relacionados às competências de produção de baterias e seus componentes não estão plenamente equacionados, carecendo de investimentos e competências em desenvolvimento na linha das células, ponto crítico da bateria, o que coloca a indústria nacional na retaguarda desta rota tecnológica.

A comparação síntese entre os níveis de prontidão de manufatura nas cadeias diesel & elétrico para os ônibus urbanos no Brasil é feita aplicando-se a metodologia de nível de prontidão de manufatura, com base na métrica descrita a seguir (quadro 56).

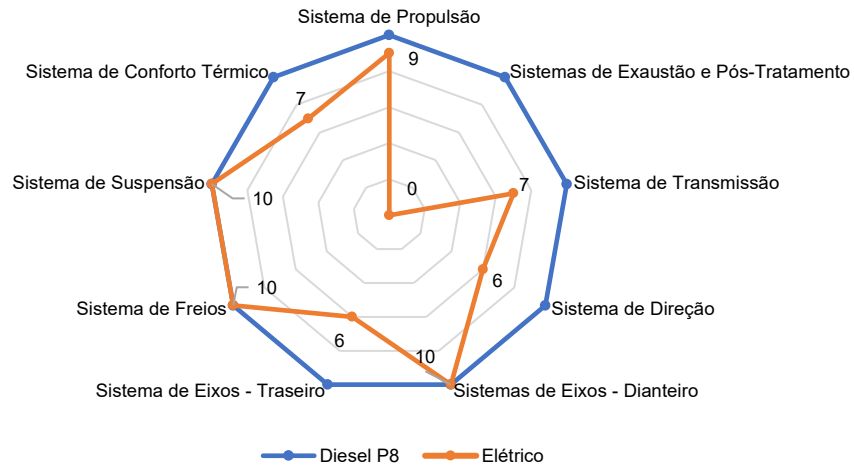
Quadro 56
Definições da escala Manufacturing Readiness Level MRL (Nível de Prontidão de Manufatura)

MRL	Descrição
1	Implicações de manufatura básica identificadas
2	Conceitos de manufatura identificados
3	Prova de conceito de manufatura desenvolvido
4	Capacidade de produzir a tecnologia em laboratório
5	Capacidade de produzir protótipos de componentes em um ambiente de produção relevante
6	Capacidade de produzir um protótipo de sistema ou subsistema em um ambiente de produção relevante
7	Capacidade de produzir sistemas, subsistemas ou componentes em um ambiente de produção representativo
8	Capacidade em ambiente de linha piloto demonstrada; Pronto para iniciar produção em baixa escala
9	Produção em baixa escala demonstrada; Capacidade para começar produção em grande escala
10	Produção em grande escala demonstrada, incluindo práticas de manufatura enxuta

Fonte: Extraído de Catarino (2014).

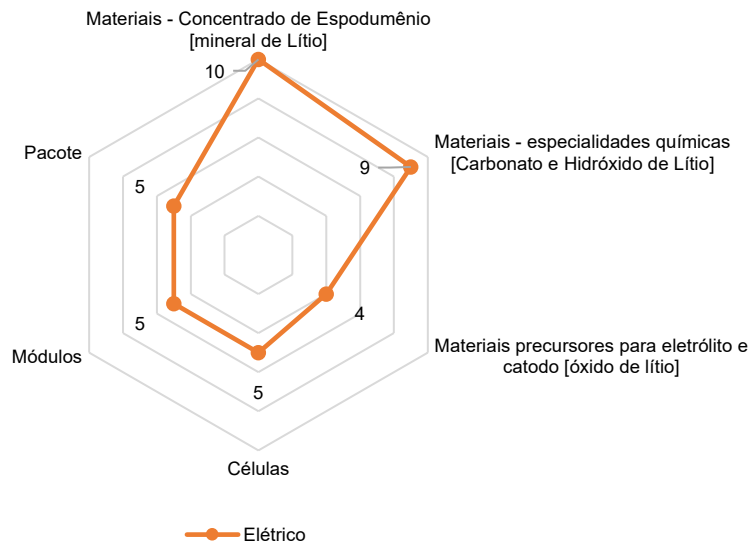
Os Gráficos 10 e 11 apresentam, respectivamente, os resultados da análise de prontidão de manufatura nas cadeias de ônibus à diesel e elétricos, e na cadeia de acumuladores de energia (baterias) no Brasil.

Gráfico 10
Comparação síntese entre os níveis de prontidão de manufatura nas cadeias diesel & elétrico para os ônibus urbanos no Brasil



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 11
Comparação síntese entre os níveis de prontidão de manufatura na cadeia de acumuladores de energia no Brasil



Fonte: Elaboração própria.

VI. Agenda para a cadeia de ônibus urbanos no Brasil: recomendações para a política industrial, articulação de atores e governança

Ao longo da construção deste trabalho, evidenciamos que o Brasil já apresenta atores relevantes nos elos mais estratégicos necessários para alavancar e ampliar a cadeia produtiva de ônibus elétricos urbanos no Brasil. Vimos também que o país apresenta um arcabouço de políticas públicas setoriais transversais, ligadas à descarbonização dos transportes, e acordos comerciais com o Mercosul, que podem figurar como importantes drivers para o mercado deste setor.

Ainda, notou-se que além dos elementos estruturais presentes (atores, empresas e instituições), existem esforços em andamento do ponto de vista da formação de uma cadeia produtiva e de suas competências em termos de capacidade de manufatura e integração de ônibus elétricos empreendidos localmente no Brasil (vide discussão no capítulo anterior).

Esse movimento foi exemplificado pelas manifestações de diversas empresas como Eletra, BYD, Mercedes Benz e Marcopolo, principalmente através do investimento na produção e capacitação local para oferta de ônibus elétricos. O mapeamento de competências demonstrou que há potencialidades e oportunidades que podem ser dificultadas, entretanto, por barreiras e gaps existentes na cadeia (conforme discussão empreendida nos diversos capítulos deste estudo). Observou-se alguns dos pontos mais sensíveis, como os acumuladores de energia e semicondutores, por exemplo.

Contudo, a discussão realizada ao longo dos capítulos também evidencia a ausência de coordenação, articulação e convergência entre os atores do setor de ônibus elétricos no Brasil, bem como a ausência de elementos institucionais importantes para esse setor incipiente. O diálogo e interlocução entre os atores, elementos estratégicos para o adensamento da cadeia, coloca-se de forma frágil e pouco apoiada por elementos institucionais, o que acaba afetando a continuidade das ações implementadas, bem como o estabelecimento de metas concretas para o setor no futuro.

Nessa direção, vimos, por exemplo, a desconexão entre as esferas federais e municipais para a implementação destes ônibus elétricos, além do desacoplamento entre oferta e demanda, em que pese e seja mandatário a melhor conjugação entre eles para o alcance de uma sinergia econômica neste caso.

É a partir destas constatações que se sustenta a proposta deste capítulo ao defendermos a relevância dos arranjos entre os atores e importância de uma governança para o desenho e execução de estratégias para a realidade nacional. Trata-se aqui de apontar caminhos para estruturar a produção de ônibus elétricos e componentes, bem como a formação de capacidades locais deste setor no Brasil.

Isso será feito a partir da construção e apresentação de Agendas Estratégicas para o setor de ônibus urbanos elétricos no Brasil, elaboradas especificamente para o escopo deste projeto, que possam contribuir para coordenar e orientar o tema da cadeia produtiva de ônibus elétricos no país. O conjunto de proposições a serem descritas e analisadas busca oferecer subsídios para a formulação de políticas públicas que conformem uma agenda concreta para alavancar a cadeia produtiva de ônibus elétricos no Brasil.

As evidências e argumentos que sustentam as agendas estratégicas estão ancorados em todo o esforço de pesquisa realizada, e se beneficiam das impressões dos entrevistados neste projeto. Considera-se assim uma composição plural de interlocutores, abrangendo atores da cadeia (montadoras e fabricantes de autopeças), associações de classe, distintos órgãos do governo, dentre outros. Estas entrevistas, ao serem processadas e analisadas, nos permitiram ao final deste exercício geral empreender uma comparação estratégica entre a cadeia de diesel e elétricos, feita no capítulo anterior, e entender onde estão as diferenças em termos de competências, onde são necessários os investimentos na capacidade produtiva, em Pesquisa e Desenvolvimento.

Feitas estas considerações iniciais, a seguir serão apresentadas de maneira esquemática as áreas e situações prioritárias identificadas ao longo da elaboração do estudo. Para cada área, desenvolvemos recomendações a serem alvo de estratégias direcionadas para serem discutidas por diferentes stakeholders e atores relacionados ao tema. Na sequência, o quadro 57 elenca estas agendas estratégicas elaboradas.

Quadro 57
Agendas estratégicas elaboradas a partir dos dados levantados

Planejamento e Governança
Regulação
Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
Criação de Competências Produtivas
Instrumentos de Financiamento e Fomento
Infraestruturas
Sinergias Tecnológicas

Fonte: Elaboração própria.

As agendas são detalhadas através de quadros específicos para cada área, contendo os problemas identificados e as respectivas recomendações para abordá-los, seguidos de um exercício analítico crítico sobre os elementos e apontamentos prioritários e destacáveis.

Quadro 58

Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Planejamento e Governança

Situação problema mapeada	ID	Ação estratégica	Comentários
Ausência de previsibilidade para a estruturação da cadeia produtiva nacional nos próximos anos	Cap 3 e Cap 4	Criar um Marco Regulatório que estabeleça metas e prazos definidos para a transição rumo às tecnologias verdes	As metas e prazos permitem o planejamento dos investimentos e as ações e previsibilidade necessárias para desenvolvimentos de competências, fornecedores e homologações
Ausência de definição da participação de cada setor econômico no Brasil relacionada ao cumprimento da NDC Brasileira	Cap 1	Definir metas voltadas ao transporte público por ônibus que atuem no cumprimento da NDC Brasileira	O setor de transporte, e também o transporte público por ônibus nos grandes centros urbanos, tem grande participação nas emissões de GEE e tem relevância e grande potencial em contribuir no atingimento das metas da NDC Brasileira
Falta de visão direta dos diversos usos e quais as tecnologias verdes disponíveis que permitem a aplicação mais racional	Cap 2	Avaliar as rotas tecnológicas existentes (biocombustíveis, elétricos e hidrogênio) e estabelecer as aplicações favoráveis à cada tecnologia	O entendimento das rotas tecnológicas existentes permite disponibilizar um mix de soluções, que poderá ter aplicação direcionada com racionalidade técnica e econômica. A pluralidade de soluções mitiga o aprisionamento tecnológico em apenas uma rota
O transporte público verde não tem tido espaço e pauta nas discussões em âmbito federal, principalmente do poder executivo	Cap 1 e Cap 3	Pautar o tema do transporte público na agenda do governo federal, seja pela criação de um Grupo de Trabalho (GT), pela liderança de Ministério e/ou agência/autarquia	O Advocacy do tema do transporte público verde, além da contribuição para as metas voltadas aos acordos climáticos, também representa um apoio à mitigação das emissões de gases poluentes, que é agenda de saúde pública nos grandes centros urbanos
Perda de protagonismo da indústria nacional na oferta de ônibus urbanos verdes no mercado latino-americano	Cap 1	Induzir a reconfiguração da cadeia nacional, a fim de demarcar seu papel de HUB de produção de ônibus verdes para a América Latina	O planejamento coordenado, voltado à vocação histórica do Brasil de grande ator da cadeia automotiva na América Latina, deve catalisar o processo de transição à mobilidade verde
Baixa interlocução entre os agentes públicos, os atores da cadeia de produção e demais partes interessadas	Cap 1 e Cap 3	Criar câmara temática direcionada que promova o diálogo e delibere ações que envolvam metas, demanda e oferta de ônibus com governos, indústria, academia e outros	O alinhamento das necessidades, demandas, pontos críticos e passos de introdução/ implementação de ônibus verdes torna-se fundamental na fase de transição tecnológica

Fonte: Elaboração própria.

Nesta primeira categoria referente ao tópico Planejamento e Governança, verificam-se as ações estratégicas entendidas e pontuadas como estruturantes; não só para o setor de ônibus elétricos (principalmente), mas também para o setor da Mobilidade de Baixo Carbono no Brasil de forma geral.

Uma das grandes situações/problema evidenciadas foi a ausência de um plano estratégico que aponte o posicionamento do Brasil perante a cadeia destes veículos de baixa emissão no médio e longo prazos. É nessa linha que a primeira ação estratégica colocada se refere à construção do marco regulatório da mobilidade, que visa dar resposta e respaldo a esse tipo de demanda por previsibilidade e planejamento. Neste caso, considera-se que este Marco se caracteriza como um Roadmap (roteiro), que possa orientar os stakeholders e promover o planejamento necessário para os investimentos na cadeia.

De fato, para além dessa visão de planejamento de longo prazo, este Marco também se conecta e dialoga com a 3ª ação estratégica, relacionada a uma avaliação crítica das rotas tecnológicas. Considera-se que estas rotas possam ser definidas de acordo com o melhor acoplamento do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Ou seja, é necessário entender, a partir desse mix de tecnologias que temos - como biocombustíveis, hibridização e eletrificação - quais são as mais adequadas/aderentes às diferentes aplicações existentes (considerando o ponto de chegada da baixa ou zero emissão, dos modais no Brasil).

Outro ponto relevante diz respeito à 2ª ação estratégica e envolve a necessidade de definição de metas específicas para o transporte público por ônibus relativas ao cumprimento da NDC brasileira. Isto porque no enquadramento atual não há uma parametrização específica da participação/contribuição de cada setor econômico do Brasil para o cumprimento de NDC; logo, as metas estabelecidas ficam sem o devido lastreamento operacional para que sejam realizados esforços concretos em cada setor. Como o setor de transportes no Brasil, sobretudo aquele do tipo pesado como ônibus e caminhões, é um dos grandes responsáveis pela emissão de materiais particulados, hidrocarbonetos, monóxido de carbono, e outros poluentes, se faz necessária a definição de metas específicas para essa categoria.

Ainda analisando planejamento e governança, a 4ª ação estratégica aborda um ponto latente no enquadramento atual da agenda da mobilidade brasileira; qual seja: a não participação deste tema do ônibus elétrico na pauta da mobilidade em nível federal. Isso deve-se não ao fato de uma ausência de políticas públicas para a mobilidade no Brasil, ao passo que existem políticas muito relevantes para a eficiência energética e controle de emissões, por exemplo. A grande ressalva é que essas políticas não incorporam a eletrificação do transporte como uma alternativa concreta e relevante e, assim, este arcabouço de tecnologias acaba não sendo pautado na agenda pública Federal. Por exemplo, temos o Programa Combustíveis para o Futuro que aborda as tendências tecnológicas para os próximos anos e suas fontes energéticas, como o segmento dos pesados (ônibus). Nessa política, não há uma discussão direcionada à eletrificação, de modo que esta estratégia não recebe a devida atenção dos formuladores do Programa. O que se coloca, portanto, é a necessidade de inserir este tema nas discussões e políticas existentes e futuras, de modo que o arcabouço institucional federal possa abranger também a eletrificação do transporte no Brasil como uma alternativa estratégica.

Essa inserção pode se dar de diversas formas. Por exemplo, por meio de uma câmara temática, ou grupo de trabalho, como é representado na sexta ação estratégica que sugere uma forma de operacionalizar a inserção do tema nas políticas públicas e Instrumentos. Um foco potencial é almejar a introdução da cadeia produtiva brasileira com protagonismo latino-americano que permita ao país ser de fato um hub exportador de tecnologias e produtos para o mercado regional (vide quinta ação estratégica).

Em síntese, este primeiro conjunto de ações estratégicas envolve desafios e problemáticas estruturantes no país. A experiência internacional mostra, entretanto, que as políticas públicas para a cadeia de ônibus elétricos seguem uma direção top-down, isto é, os governos centrais, através de seu discurso, políticas e planos de ação, coordenam as ações do setor público e orientam os investimentos dos agentes privados (Cruz, 2022)²⁶. No Brasil não se enxerga o mesmo enquadramento. Pelo contrário, o que se verifica aqui é uma estrutura bottom-up, em que as cidades e os agentes privados tentam puxar esse processo de eletrificação do transporte público a despeito da imobilidade do governo federal, o que acaba gerando ineficiências, aumento na percepção de risco dos agentes e falta de coordenação nos esforços já empreendidos.

Ainda na linha de políticas e Instrumentos governamentais, serão discutidas a seguir as ações estratégicas no âmbito da regulação, trazendo um olhar acerca de pontos concreto nos quais o arcabouço regulatório deve ser sofisticado e aperfeiçoado para suportar a implementação dos ônibus urbanos elétricos no Brasil.

A componente regulação inclui as ações estratégicas de caráter normativo e na linha operacional (dispositivos legais) para viabilizar os ônibus urbanos elétricos no Brasil. A primeira ação estratégica foca em elementos para a criação de demanda, uma vez que a demanda atual não é suficiente para alavancar o mercado de ônibus elétrico e conseqüentemente, para adensar a cadeia produtiva nacional. Trata-se de permitir a construção de consórcios municipais para compra em lotes de ônibus elétricos, já que nesse modelo, consegue-se negociar melhores preços e valores a partir de volumes maiores de compra, que

²⁶ Ver, a esse respeito, Cruz, R. (2022). Políticas industriais para a cadeia produtiva de ônibus elétricos: aprendizados e experiências baseadas no benchmarking internacional dos Estados Unidos, China, México e Holanda.

diminuem o custo de aquisição desta tecnologia. Para a cadeia produtiva, não é interessante e desejável a compra de ônibus por cidades via lotes pequenos, muitas vezes com pedidos que não chegam a uma dezena de ônibus, por exemplo. Esse padrão de demanda pontual e não perene dificulta o planejamento produtivo e o crescimento da produção nos próximos anos. Logo, é imperativo que a demanda seja melhor planejada e estimulada, de formar a fornecer um grau maior de previsibilidade para a cadeia.

Quadro 59
Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Regulação

Situação problema mapeada	ID (origem do dado)	Ação estratégica	Comentários
Pequenos e médios municípios têm dificuldade para aquisição de ônibus verde	Cap 5	Viabilizar e permitir do ponto de vista regulatório a construção de consórcios municipais para potencializar a alavancagem e negociação nas compras de frotas de ônibus verde	As compras via consórcios potencializam o acesso de municípios aos ônibus verdes que, sozinhos, não conseguem ter a envergadura financeira para este processo. Esta atuação dos municípios, conjuntamente aos operadores locais, torna-se uma alternativa viabilizadora
Ausência da conceituação explícita do que é ônibus verde	Cap 5	Especificar o que é um ônibus verde, de acordo com critérios técnicos que preconizem a eficiência energética e a baixa emissão (descarbonizada ou de zero emissão)	A aplicação do PBEV (Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular) nos ônibus pode classificar objetivamente os produtos de acordo com a sua eficiência energética. Adicionalmente, os limites de emissões de poluentes e de GEE (com foco na ACV) são parâmetros que compõem a especificação do que é um ônibus verde
Falta de requisitos mínimos comuns aos ônibus urbanos verdes disponíveis no mercado	Cap 5	Padronizar parâmetros comuns nos ônibus verdes que permitam a aquisição objetiva destes produtos pelos municípios e operadores	A padronização permite a escala de produção dos produtos, sem a necessidade de manutenção de variantes, que potencializa a redução de custo destes mesmos produtos
Oneração tributária de componentes estratégicos para a montagem de ônibus verdes (células, eletrônica de potência)	Cap 5	Manter a estratégia de classificação dos componentes críticos como ex-tarifários	Considerando que ainda persistem componentes importados para a montagem de ônibus verdes, a perenidade da classificação "ex-tarifário" promove a redução de custo do produto e disseminação no mercado

Fonte: Elaboração própria.

Outro ponto extremamente relevante refere-se à conceitualização e definição do que é o ônibus elétrico e seus parâmetros técnicos de eficiência energética e emissão de poluentes no ciclo total de vida do produto. Atualmente, não existe uma classificação direcionada para essa categoria, bem como uma avaliação crítica e definida do ponto de vista operacional e de emissões. Esta lacuna conceitual leva a desentendimentos acerca da tecnologia e interpretações equivocadas. E é por isso que colocamos aqui a inserção dos ônibus elétricos no programa brasileiro de etiquetagem veicular, com o alvo de objetivar a definição de eficiência energética e emissões, e aumentar a convergência, nestes casos.

Ainda, a terceira ação estratégica envolve a padronização de produtos, visto que há uma ausência de especificação técnica e requisitos mínimos necessários no que se refere aos ônibus elétricos a serem comercializados e produzidos no país. Além de reduzir a previsibilidade acerca das trajetórias tecnológicas a serem perseguidas pelas empresas, a ausência de instrumentos de padronização gera uma série de desentendimentos a respeito das características dos produtos a serem desenvolvidos para o mercado nacional, que podem não ser compatíveis com as demandas locais. Além disso, a padronização das características dos ônibus pode servir como instrumento para o controle de qualidade dos veículos vendidos no país e, também, como instrumento de política industrial no sentido de estimular a cadeia produtiva a investir em pesquisa e desenvolvimento e a adquirir competências tecnológicas e produtivas, como no caso chinês a partir de 2016. Logo, é imperativa a especificação técnica mínima necessária para esses veículos no Brasil, e que podem ajudar também na escalabilidade de produtos, reduzindo o custo também de produção deles.

Por fim, dada a incipiência da cadeia produtiva, que ainda enfrenta desafios de custos no Brasil, faz sentido manter a estratégia de classificação de componentes críticos como ex-tarifários, de modo que eles possam aproveitar de uma isenção tributária do imposto de importação em tecnologias e componentes críticos.

Quadro 6o

Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

Situação problema mapeada	ID (origem do dado)	Ação estratégica	Comentários
Ausência de uma cooperação e coordenação pública/privada voltada às tecnologias dos ônibus verdes	Cruz (2022)	Estruturar projetos de pesquisa em tecnologias de eletrificação, liderados por universidades/centro de pesquisa, juntamente com a indústria e governos	A experiência internacional demonstrou a importância de contar com sistemas de laboratórios, como nos EUA, voltados ao desenvolvimento de tecnologias de eletrificação. Há também a presença de universidades no Brasil com competências voltadas ao tema
Inexistência de programas de P&D estratégicos voltados às tecnologias de ônibus verdes	(Cruz, 2022)	Construir agenda (como missões) de projetos vinculados às tecnologias estratégicas, com foco na P&D, tais como: motores elétricos avançados com ímãs permanentes, nova geração de tecnologias de células para baterias, novas arquiteturas veiculares e semicondutores	A P&D local promove a inovação, a disseminação e a racionalização de custos da tecnologia, além de fortalecer a cadeia produtiva com potencial exportação regional de tecnologia
Ausência de direcionamento e apontamento de quais são os temas estratégicos de P&D	(Cruz, 2022)	Definir os pilares temáticos estratégicos para o desenvolvimento da cadeia brasileira de ônibus verde e criar a premiação de projetos a fim de estimular a competição tecnológica	A definição de quais são os temas estratégicos de P&D habilitam a canalização focada de financiamento a P&D voltado a projetos que entreguem maior grau de maturidade. Isto permite o reposicionamento e alavancagem da cadeia brasileira de ônibus verde na América Latina
Ausência de mão de obra especializada, nos diferentes níveis (formação continuada, técnico), capaz de executar as manutenções necessárias nos ônibus verdes	Cap 3	Criar programa capilarizado de formação de mão de que permita a operadores e municípios terem acesso ao conhecimento	A robustez da adoção dos ônibus verdes pelos operadores e municípios passa pela capacitação de mão de obra que seja especializada a este produto

Fonte: Elaboração própria.

Esse conjunto de ações propostas para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, se apoia e se fundamenta amplamente no exercício de análise de experiências internacionais de políticas industriais para a cadeia produtiva de ônibus elétricos, cujos resultados foram apresentados em outro estudo (Cruz, 2022). É nessa vertente que se encontra a fronteira do desenvolvimento de competências para as cadeias produtivas neste setor globalmente, e que o Brasil, por ainda não ter sua cadeia estruturada, deve buscar estimular as empresas atuantes no país a realizar investimentos nessas atividades, almejando uma posição estratégica no setor.

Primeiramente, uma lição aprendida do caso norte-americano é a de que a existência de Laboratórios Nacionais, que se articulam com a iniciativa privada e academia para coordenação de construção de competências, tem sido fundamental para o protagonismo tecnológico alcançado nos últimos anos pelo setor nos Estados Unidos. Estes elementos do Sistema de Inovação devem ser tomados como uma referência para o Brasil, que também possui uma estrutura de ciência e tecnologia estabelecida (ainda que claramente em dimensões menores), composta, por exemplo, pelas universidades e institutos federais distribuídos pelo país. Para o caso brasileiro poderia se pensar numa melhor coordenação entre os institutos de tecnologia, universidades públicas e as empresas da cadeia para o desenvolvimento de tecnologias estratégicas que possam elevar o nível de sofisticação tecnológica local, permitir a adaptação de componentes e resolver problemas técnicos, logísticos e de mercado que se coloquem frente à necessidade de eletrificação do transporte.

Na mesma linha, outro aprendizado extraído da experiência internacional refere-se à importância da criação de projetos e programas estratégicos de P,D&I. Nos Estados Unidos, por exemplo, são criadas missões que buscam desenvolver ou aprimorar tecnologias estratégicas e habilitadoras para o setor, como ímãs permanentes para os motores elétricos e novos materiais para a fabricação de baterias, entre outros. Para o Brasil, é imperativo fazer uma reflexão crítica a nível nacional com vistas a entender quais seriam os nossos programas estratégicos: que tipo de tecnologias temos que desenvolver localmente? Quais são os desafios que enfrentamos para a eletrificação específicos ao país? Quais oportunidades a estrutura científica e tecnológica nacional oferece que merecem ser exploradas? Quais são os riscos de ficarmos dependentes de tecnologias importadas? Essas questões poderiam ser respondidas com essa visão de programas e/ou missões tecnológicas.

Por fim, coloca-se aqui a necessidade de programas para formação de mão de obra, nos seus mais diferentes níveis, desde o nível técnico até o nível de pesquisa acadêmica e pós-graduação, que habilitem pessoal qualificado a atuar no segmento de ônibus elétricos. De acordo com as entrevistas realizadas com representantes da indústria, o grande receio por parte de atores da cadeia produtiva de ônibus elétricos e dos operadores é não terem respaldo e disponibilidade de manutenção técnica adequada, bem como de engenharia local para aplicação de soluções. Diversas áreas estratégicas como tecnologia da informação, engenharias elétrica e eletrônica, desenvolvimento de software etc. ainda não estão plenamente estruturadas para apoiar o adensamento dessa e de outras cadeias produtivas.

Quadro 6.1

Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Criação de Competências Produtivas

Situação problema mapeada	ID (origem do dado)	Ação estratégica	Comentários
Ausência de conexão regional (AL) dos atores industriais e da cadeia no âmbito da produção dos ônibus verdes	Cap 5	Criar articulação regional entre os atores da cadeia para a cooperação técnica e intercâmbio de competências	O Brasil e a América Latina possuem atributos importantes para se tornarem um grande ator global no contexto da produção dos ônibus verdes (vide a trajetória pujante da cadeia brasileira de ônibus a Diesel e os recursos existentes na Argentina e Bolívia quando se trata do insumo relevante para as baterias, como o Lítio). Neste contexto, a conexão e articulação regional torna-se imperativa para aproveitar as melhores oportunidades para a implementação desta tecnologia
Ausência de subsídios ou incentivos diretos à cadeia produtiva de ônibus verdes	Cap 1 e Cap 3	Criar política pública que promova um pacote de incentivos e subsídios para a cadeia produtiva de ônibus verdes	A experiência internacional demonstra que a transição dos ônibus urbanos à diesel para os ônibus verdes é acompanhada por grande indução dos governos, via subsídios e incentivos. Em face à aplicação desta tecnologia no transporte público, a transição tecnológica se justifica pela eliminação das emissões de poluentes e a mitigação das emissões de GEE, contexto que legitima a implementação do referido pacote de incentivos/subsídios
Inexistência de cadeia produtiva de acumuladores de energia (baterias) e semicondutores	Cap 4	Criar e adensar a cadeia produtiva de baterias e semicondutores via incentivos que atraiam investimentos ao Brasil	A captação dos IEDs (Investimentos Estrangeiros Diretos) através de um plano robusto de localização produtiva pode eliminar as lacunas existentes em vários itens da cadeia de baterias, como exemplo: processamento químico para separador, cátodo, ânodo, membrana, eletrólito. Além disso, a pandemia e a guerra da Ucrânia explicitaram a fragilidade da cadeia de fornecimento global de semicondutores, sinalizando a necessidade de eliminação da dependência do Brasil em relação à China

Fonte: Elaboração própria.

A análise volta-se nesse momento para um dos grandes motivadores deste estudo e componente crítico da competitividade industrial brasileira, qual seja, a criação de competências produtivas locais. A pesquisa revelou que o Brasil tem um parque industrial sofisticado, capaz de realizar a integração e montagem de ônibus elétricos, bem como ofertar os componentes do powertrain, especificamente, como motores elétricos, inversores e toda a eletrônica de potência. Contudo, a cadeia não está completa e seus

gaps devem ser sistematicamente trabalhados. As duas maiores lacunas são a inexistência da cadeia produtiva de acumuladores de energia (baterias), bem como a de semicondutores. As baterias são os elementos centrais da eletrificação e a maior componente de custo, além de um ativo estratégico global. Como apresentado no Capítulo 4, o Brasil possui atores estabelecidos nas etapas finais de montagem dos packs de baterias, bem como disponibilidade de matérias-primas, mas faltam competências nas etapas intermediárias como a extração e o refino das matérias primas e a produção de células. Isso demonstra a necessidade de esforços de criação de competências produtivas nessa direção.

Há que se ponderar também o papel chave que os semicondutores desempenham na integração veicular e eletrônica embarcada. O Brasil encontra-se dependente de tecnologias estrangeiras através da importação desses componentes, os quais estão sujeitos a oscilações de disponibilidade e da demanda global, elevação dos custos produtivos, oscilações na cadeia global como catástrofes naturais, guerras, e outros elementos que impactam diretamente o seu custo de importação.

Em síntese, é mandatório o Brasil construir um plano robusto para as cadeias de baterias locais e de semicondutores, de modo a dar segurança à produção e competitividade industrial, não só no setor de ônibus elétricos, mas também diversos outros setores estratégicos para a revitalização do parque produtivo nacional.

Para além desse ponto prioritário, deve-se fundamentar também a articulação regional no contexto latino-americano entre atores e empresas da cadeia, nesses diferentes países. Existem parques produtivos robustos no âmbito automotivo para além do Brasil, como na Argentina e no México, por exemplo. Seria interessante pensar em algum tipo de coordenação regional para cadeia de ônibus elétricos, por exemplo, para criação de uma cadeia de baterias “regionalizada” que pudesse capturar insumos de lítio da Bolívia e do Chile, que pudessem ser processados no Brasil e utilizados para a produção de células de baterias localmente.

Quadro 6z

Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Instrumentos de Financiamento e Fomento

Situação problema mapeada	ID (origem do dado)	Ação estratégica	Comentários
Programas de crédito com taxas desvantajosas e assimetria de custos de produção de ônibus Diesel versus Verdes	Cap 1 e Cap 3	Criar linhas de crédito com taxas atrativas e voltadas à compra de bens de capital necessários a formação da cadeia de produção de ônibus verdes	A disponibilização de dinheiro a um custo baixo é, de fato, um fator catalisador para o adensamento da cadeia. A produção de ônibus verde pode ser um requisito gerador de créditos verdes, que podem ser qualificadores para obtenção de taxas de empréstimo mais baixas
Riscos de investimento na produção dos ônibus verdes se apresentam, atualmente, maiores que para a produção da tecnologia atual (diesel)	Cap 3	Estruturar um conjunto de fundos verdes que suportem maior risco, com taxas atrativas e que tenham critérios específicos a produção de tecnologias verdes, como os ônibus verdes	Mesmo com taxas atrativas, o financiamento com baixa tolerância ao risco exigirá um conjunto de garantias que podem inviabilizar a tomada do financiamento. Fundos verdes podem oferecer melhores condições por admitirem maior risco, que é intrínseco à etapa de disseminação das tecnologias verdes
Ausência de incentivo fiscal vinculado às tecnologias verdes, como o caso dos ônibus verdes	Cap 1 e Cap 3	Criar pacote de incentivos à produção de veículos que traga bônus para aqueles que tenham desempenho em eficiência energética e nível de emissões de poluentes e GEE	Os incentivos podem ser escalados e devem premiar mais aquelas arquiteturas que maximizem a eficiência energética e direcionem claramente para a zero emissão de poluentes e de GEE

Fonte: Elaboração própria.

Outro ponto fundamental nessa discussão é a retomada a nível nacional da formulação de políticas industriais que incluam incentivos e subsídios para a demanda e para as atividades produtivas locais. Fundamentalmente, todos os países líderes na fabricação de ônibus elétricos tiveram incentivos substanciais e apoio estratégico de seus governos de forma a reduzir o impacto dos diversos desafios encontrados pelos agentes privados, como o elevado custo da construção de infraestrutura de apoio, risco tecnológico e de mercado, entre outros. Nesse sentido, o papel do Estado é imperativo, num primeiro momento, para construir, fortalecer e dar segurança aos investimentos dessas novas cadeias.

Para viabilizar uma cadeia produtiva de ônibus elétricos no Brasil, se faz necessário empreender investimentos de diferentes ordens de grandeza para suportar a aquisição de bens de capital, empregar mão de obra qualificada, obter tecnologias e desenvolver as competências necessárias, conforme este estudo revelou. Uma peça fundamental neste “quebra-cabeça” refere-se aos dispositivos de financiamento e fomento, uma vez que nas economias industrializadas contemporâneas, os instrumentos de incentivo e financiamento à capacidade produtiva e inovação têm sido motores para as empresas desenvolverem novos produtos e serem competitivas no mercado (SCHUMPETER, 1982).

Claramente, para o caso brasileiro, também se torna imperativo o desenvolvimento de instrumentos que sejam aderentes e atrativos ao capital brasileiro e aos investidores externos. É nessa direção que a primeira ação estratégica aponta: a necessidade de criação de linhas de crédito voltadas especificamente à compra de bens de capitais, maquinários e equipamentos a fim de viabilizar de fato a produção dos ônibus elétricos e seus componentes.

Atualmente as linhas de financiamento disponíveis para esses investimentos produtivos não têm a devida atratividade, de acordo com as entrevistas realizadas e evidências coletadas neste estudo. Para oxigenar esse tipo de investimento, instrumentos acessíveis e com amplos volumes financeiros disponíveis a longo prazo, em caráter reembolsável e não reembolsável, são necessários. Essas linhas de crédito podem fomentar e atrair novos entrantes a fazer investimentos na cadeia e alavancar este setor. O potencial protagonista e que tem papel essencial neste sentido é o BNDES, cuja missão é apoiar o desenvolvimento das indústrias brasileiras e que dispõe desses recursos financeiros.

A segunda ação estratégica proposta visa complementar a primeira, ao objetivar a diversificação de fundos a partir dos chamados “fundos verdes” que possam suportar maiores riscos. Estes fundos se posicionam no âmbito do mercado financeiro e estão atrelados à agenda ESG (PACTO GLOBAL, 2022), principalmente, e devem ser organizados para fomentar as tecnologias de baixo emissão, considerando também o ônibus elétrico.

A implementação da infraestrutura de apoio é uma etapa estratégica e crucial para a viabilização do ônibus elétrico. Os ônibus elétricos guardam uma grande dependência da infraestrutura de recarga para operar, e esta infraestrutura, por sua vez, é dependente da infraestrutura de geração e transmissão de energia, seja ela de geração centralizada ou descentralizada. No entanto, ainda existe certo desconhecimento técnico mesmo por parte dos operadores, o que é natural visto que estes estão acostumados a lidar com a infraestrutura referente aos ônibus à diesel. Ao mesmo tempo, existem diferentes tecnologias e modelos de negócio no mercado, tanto em termos dos padrões de carregamento quanto às diferentes arquiteturas para geração e compra de eletricidade. Portanto, a definição de parâmetros normativos e metodológicos visando guiar a implementação da infraestrutura de recarga é o alvo da primeira ação estratégica referente à dimensão de infraestrutura.

Quadro 63
Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Infraestruturas

Situação problema mapeada	ID	Ação estratégica	Comentários
Ausência de conhecimento técnico e de regras de planejamento para a implementação de infraestrutura de recarga nas garagens, para o caso dos ônibus elétricos	Cap 3	Elaborar metodologia para a implementação de infraestrutura, contendo os passos necessários, normatização técnica requerida e os procedimentos exigidos, considerando as particularidades e diferenças regionais	Em face à incipiência da disseminação de conhecimento voltado aos ônibus elétricos, tem-se maior percepção de risco de investimento, da operação e da rentabilidade oferecida pela tecnologia. O tema infraestrutura é uma componente importante e torna-se imperativa a qualificação e criação de competências das partes interessadas, como no caso dos operadores de ônibus
Ausência de conhecimento sobre o mercado de energia elétrica e das melhores estratégias de compra	Cap 3	Sistematizar a informação disponível e informar as partes interessadas sobre o modo de funcionamento do sistema elétrico e seu mercado de comercialização (mercado livre, mercado cativo, enquadramentos tarifários)	A compra da energia elétrica de forma racional e previsível é fator crucial para a redução do risco da operação. O conhecimento desta área habilita a melhor escolha e tomada de decisão frente às inúmeras opções existentes, que se conectam e dialogam com outras vertentes, como a Geração Distribuída, por exemplo
Incipiência de dados da operação, dos ônibus e dos eventos de recarga	Cap 3	Implementar ferramentas tecnológicas capazes de coletar, pós-processar e disponibilizar dados para otimização da operação	Informações sobre as rotas, sobre os ônibus e sobre as estações de recarga são fundamentais para qualificar a operação e traçar ações corretivas ou de melhoria. Logo, o processo de tomada de decisão sobre a frota de ônibus deve migrar do conhecimento tácito para a análise
Falta de conhecimento sobre a resposta dos ônibus elétricos nas mais diversas condições e circunstâncias de aplicação	Cap 3	Estabelecer um banco de dados central, capaz de receber e pós processar os dados do ônibus elétricos já em circulação no Brasil	A existência de um banco de dados central que permita a análise das informações disponíveis e a aplicação de machine learning/inteligência artificial poderia servir para a definir a autonomia esperada, por exemplo, em função das condições de temperatura, carga (número de passageiros), topografia da rota, atuação do sistema de conforto térmico, dentre outras

Fonte: Elaboração própria.

De forma similar, a segunda ação estratégica diz respeito à sistematização de informações acerca do sistema elétrico brasileiro, alternativas para geração de eletricidade e o funcionamento dos mercados de eletricidade no país. O objetivo é trazer para os operadores o conhecimento e as competências necessárias para que eles possam tomar a melhor decisão a respeito da forma de contratar ou gerar eletricidade para abastecer os ônibus elétricos.

Também no sentido de aumentar a eficiência da tomada de decisão por parte dos operadores, a terceira e quarta ações estratégicas tratam da necessidade de desenvolver ferramentas de análise avançada que permitam coletar informações e otimizar o conhecimento em relação ao funcionamento dos ônibus elétricos em diferentes condições de uso, bem como os diferentes parâmetros envolvidos na operação dos ônibus, como as rotas, os modelos e informações sobre a infraestrutura de recarga. Com a utilização de softwares avançados agregando elementos de big data e machine learning, e valendo-se do grande potencial de conectividade dos ônibus elétricos, é possível ter um controle muito grande acerca dos veículos e de outros parâmetros envolvidos em todos os aspectos da operação, desde a geração e transmissão de eletricidade, passando pelo carregamento dos veículos, bem como dados do desempenho dos ônibus em diferentes condições de uso. É importante ressaltar o papel que os projetos piloto possuem nesse sentido de gerar informações relevantes acerca da operação dos ônibus elétricos para os operadores e, portanto, essas duas ações estratégicas podem ser implementadas mesmo nos casos em que a frota desses veículos ainda é muito pequena.

Quadro 64
Agendas e dimensões estratégicas para a cadeia de ônibus elétrico no Brasil: Sinergias Tecnológicas

Situação problema mapeada	ID (origem do dado)	Ação estratégica	Comentários
Ônibus elétricos abastecidos por energia gerada por fonte não renovável	Cap 5	Priorizar a utilização de energia renovável para o abastecimento dos ônibus elétricos com o uso de certificados de origem (I-RECS, por exemplo)	O uso de certificados verdes e o incentivo para seu uso são fundamentais para a ACV (Avaliação de Ciclo de Vida) dos ônibus, sendo fator crucial para a mitigação das emissões de GEE ao aplicar esta tecnologia
Oscilações no fornecimento de energia e necessidade de reforço deste fornecimento nos horários de pico ou nos casos de interrupções não programadas	Cap 5	Viabilizar o uso da frota de ônibus em conexão bidirecional com a rede (Via V2G por exemplo), de forma que possa ser entendida como acumuladora de energia disponível para injeção nesta rede em situações prescritas	A frota de ônibus pode ser entendida e utilizada, além da função primária no transporte público, como “acumuladora” de energia que seja capaz de prover/injetar esta energia à rede elétrica: em síntese, o objetivo é utilizar a energia das baterias para fornecer eletricidade ao sistema elétrico
Insuficiência de processos estabelecidos para destinação/uso das baterias	Cap 5	Mapear a jornada de uso das baterias via ferramentas de monitoramento para definir o ponto de aplicação em segunda vida	Avaliar o SOH (State of Health) das baterias via monitoramento permite a racionalização do uso. A aplicação em segunda vida monetiza o usuário da primeira vida e influencia positivamente os custos operacionais quando se deve fazer a troca

Fonte: Elaboração própria.

A última categoria da agenda estratégica diz respeito a aspectos de natureza técnica e sinergias tecnológicas com outros setores que precisam ser levados em consideração para assegurar que a implementação dos ônibus elétricos cumpra o objetivo de reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa e ao mesmo tempo impedir que a eletrificação do transporte coletivo gere impactos negativos no meio ambiente.

Algumas das maiores críticas recorrentemente citadas em relação ao impacto ambiental dos veículos elétricos dizem respeito à sua dependência do sistema de produção de eletricidade, ou seja, a quantidade de poluentes emitidos por esses veículos depende da forma com que a eletricidade que lhes é fornecida é gerada. Essa crítica é válida e ressalta a natureza sistêmica das mudanças tecnológicas relacionadas à sustentabilidade, no sentido de haver uma interdependência entre setores que se relacionam direta ou indiretamente, interdependência essa que afeta os impactos ambientais combinados de suas operações. Nesse sentido, a primeira ação estratégica trata da necessidade de priorizar a utilização de fontes de energia renovável para o fornecimento de eletricidade aos operadores de ônibus elétricos, o que depende da elaboração de modelos de negócio que incluam, por exemplo, a geração de eletricidade descentralizada dentro do escopo de atuação dos operadores, além de mecanismos de controle que assegurem a utilização dessas fontes renováveis, como certificados de origem.

Outra grande crítica em relação aos veículos elétricos diz respeito ao descarte das baterias, que podem conter metais pesados e outras substâncias altamente nocivas ao meio ambiente, e que, portanto, requerem um descarte adequado. A terceira ação estratégica visa fornecer mecanismos eficazes para a reutilização e o descarte das baterias, através do uso de mecanismos de monitoramento do SOH (State of Health ou estado de vida da bateria), bem como a criação de alternativas comercialmente viáveis para a reutilização das baterias, por exemplo para aplicações residenciais. Também podem ser utilizados acordos voluntários de EPR (*extended producer responsibility* ou responsabilidade ampliada do produtor) nos quais as fabricantes dos ônibus ou das baterias se comprometem a realizar a troca desses componentes e, também, são responsáveis pelo seu descarte e/ou reutilização.

Referências bibliográficas

Referências Bibliográficas capítulo 1

- ANEEL. Agência abre Chamada de P&D Estratégico sobre Mobilidade Elétrica Eficiente, 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/agencia-abre-chamada-de-p-d-estrategico-sobre-mobilidade-eletricaeficiente/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 01/05/2023.
- ANTP (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS). A importância Macroeconômica e socioambiental do Transporte Público por ônibus no Brasil, 2020. Disponível em: <<http://files.antp.org.br/2020/8/26/a-importancia-macroeconomica-e-socioambiental-do-transporte-publico-por-onibus-1.pdf>>. Acesso em: 30/05/2023.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2021, 2021.
- BARASSA, E. A CONSTRUÇÃO DE UMA AGENDA PARA A ELETROMOBILIDADE NO BRASIL: COMPETÊNCIAS TECNOLÓGICAS E GOVERNANÇA. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 2019.
- BARASSA, E.; CRUZ, F. R.; FARIA, L. G. D.; TANURE, T. M. P.; RODRÍGUEZ, T. B.; RIGON, V. Oferta de ônibus elétrico no Brasil em um cenário de recuperação econômica de baixo carbono. Cepal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47833/1/S2100966_pt.pdf>. Acesso em 22/05/2023.
- BERMÚDEZ, T. Transiciones Socio-Técnicas hacia una Movilidad de Bajo Carbono: *Un análisis del Nicho de los Buses de Baja Emisión para el Caso de Brasil*, Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 2018.
- BNDES. Fundo Clima, 2021. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima>. Acesso em: 11/11/2022.
- BRASIL-MINISTÉRIO DAS CIDADES. Política Nacional de Mobilidade Urbana. Lei 12.587/12Brasil, 2012. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12587-3-janeiro-2012-612248-norma-atualizada-pl.pdf>. Acesso em: 11/11/2022.
- BRASIL. Lei No.9.991, de 24 de julho de 2000. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2000/lei-9991-24-julho-2000-359823-norma-atualizada-pl.html>. Acesso em: 11/11/2022.

- _____. Política Nacional sobre Mudança do Clima PNMC. Lei No. 12.187 de 29 de dezembro de 2009, 2009. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12587-3-janeiro-2012-612248-nor-ma-atualizada-pl.pdf>. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. Lei No. 12.439 de 15 de dezembro de 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12349.htm. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. Decreto NO. 7.746 de 5 de junho de 2012. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=7746&ano=2012&ato=8eecXQq10MVpWTd7d>. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. [s.l: s.n.].
- _____. Decreto No. 9.557 de 8 de novembro de 2018. Programa Rota 2030-Mobilidade e Logística, 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/KujrwoTZC2Mb/content/id/49480369/DiarioOficialdaUniao. Acesso em: 11/11/2022.
- DIÁRIO DO TRANSPORTE. Vendas de ônibus fecham 2020 com queda de 33%, diz Fenabreve. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2021/01/05/vendas-de-onibus-fecham-2020-com-queda-de-33-diz-fenabreve/>. Acesso em: 04/06/2023.
- ELECTROMOV. Tres sistemas de tecnologías para cargar buses eléctricos que se utilizan en el transporte público, 2019. Disponível em: <https://www.electromov.cl/2019/12/12/tres-sistemas-de-tecnologias-para-cargar-buses-electricos-que-se-utilizan-en-el-transporte-publico/>. Acesso em: 11/11/2022.
- ELETRA. Trólebus. Disponível em: <http://www.eletrabus.com.br/en/empresa/>. Acesso em: 11/11/2022.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Nacional de Energia 2050, 2020.
- FABUS - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE ÔNIBUS. Produção das Associadas. Disponível em: <https://www.fabus.com.br/producao.htm>. Acesso em: 30/05/2023.
- FNDE - FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Caminho da Escola., 2021.
- GEELS, F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, v. 31, n. 8–9, p. 1257–1274, 2002.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global EV Outlook 2019 Scaling-up the transitions to electric mobility, 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Programa de controle de emissões veiculares (Proconve), 1986.
- MCTIC. Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis 2018-2022. Brasília D.F: [s.n.].
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Eficiência Energética. Premissas e Diretrizes Básicas, 2021.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Programa Combustível do Futuro. Resolução No. 7 de 2021.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Levantamento sobre a situação dos Planos de Mobilidade Urbana, 2020.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, 2015.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução No. 490 de 16 de Novembro de 2018. Estabelece a Fase PROCONVE P8, 2018.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES; MINISTÉRIO DAS CIDADES. Plano setorial de transporte e de mobilidade urbana para mitigação e adaptação à mudança do clima (PSTM). Brasília D.F: [s.n.], 2013.
- MME -MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. RenovaBio. Diretrizes Estratégicas, 2018.
- NTU - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. Anuário NTU 2019—2020, 2020. Disponível em: <https://mobilitas.lat/wp-content/uploads/2020/10/201018-ANU%C3%81RIO-DA-NTU-2019-2020.pdf>. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. Impactos no Transporte Público por Ônibus Provocados pela Pandemia da COVID-19: Análise do Cenário Nacional (março/2020 a abril/2021), 2021b.
- OLHAR DIGITAL. Mercedes-Benz paralisa fábricas no Brasil por causa da Covid-19, 2021. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2021/03/23/carros-e-tecnologia/mercedes-benz-paralisa-fabricas-no-brasil-por-causa-da-covid-19/>. Acesso em: 04/05/2023.
- SECRETARIA ESPECIAL DE AGRICULTURA FAMILIAR E DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. O que é o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), 2018.

- SISTEMA COMEX STAT - COMEXVIS. Exportações automóveis para transporte de mercadorias e usos especiais, 2021.
- SISCOMEX - SISTEMAS DE COMÉRCIO EXTERIOR. Acordos em vigor, 2021.
- SPTRANS; SECRETARIA DE MOBILIDADE E TRANSPORTES CIDADE DE SÃO PAULO. Manual dos Padrões Técnicos de Veículos Tração Elétrica, 2018.
- SPTRANS; SECRETARIA DE MOBILIDADE E TRANSPORTES PREFEITURA DE SÃO PAULO. Manual dos Padrões Técnicos de Veículos, 2019.
- WRI BRASIL. Nova NDC do Brasil: entenda por que a meta climática foi considerada pouco ambiciosa, 2021.
- YONG, J. Y. et al. *A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 49, p. 365–385, 2015.

Referências Bibliográficas Capítulo 2

- ABERJE. Aberje. Disponível em: <<https://www.aberje.com.br/lear-corporation-lider-no-mercado-de-assentos-e-sistemas-eletricos-automotivos-e-a-mais-nova-associada-da-aberje/>>. Acesso em: 03/04/2022.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Motores diesel — Agente redutor líquido de NOx automotivo — ARLA 32 ABNT NBR ISO 22241-1:2011 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=NokzKoF6TFRwS2wxYkFLNVloWnJyOGovNGR6UmpUdkVWcjRzWHdmQkJsNDo=>>. Acesso em: 20/03/2022.
- AGÊNCIA TRANSPORTA BRASIL. Agência Transporta Brasil. <https://www.transportabrasil.com.br/2021/03/caminhoes-volkswagen-completam-40-anos-de-historia-no-brasil/>, 2022. Acesso em: 04/06/2023.
- ANFAVEA. - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <<https://anfa-vea.com.br/site/>>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- ANTP. ANTP - Guia de Gestão Operacional. [s.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<http://files.antp.org.br/2019/9/29/guia-de-gestao-operacional--versao-digital.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- AUTOMOTIVE BUSINESS. Automotive Business. Disponível em: <<https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/scania-lanca-novo-ciclo-de-investimento-de-r-14-bilhao/>>. Acesso em: 11 abr. 2022.
- BARASSA, E.; CRUZ, F. R.; FARIA, L. G. D.; TANURE, T. M. P.; RODRÍGUEZ, T. B.; RIGON, V. Oferta de ônibus elétrico no Brasil em um cenário de recuperação econômica de baixo carbono. Cepal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47833/1/S2100966_pt.pdf>. Acesso em 22/05/2023.
- BOSCH. Resultados Bosch 2021. Disponível em: <<https://www.bosch-press.com.br/pressportal/br/pt/press-release-36544.html>>. Acesso em: 13/04/2022.
- _____. Bosch. Disponível em: <<https://www.bosch.com.br/nossa-empresa/bosch-no-brasil/>>. Acesso em: 02/04/2022.
- BRÍGIDA, S. Santa Brígida. Disponível em: <<http://www.santabrigida.com.br/a-empresa/>>. Acesso em: 15/04/2022a.
- BRÍGIDA, S. Santa Brígida Manutenção. Disponível em: <<http://www.santabrigida.com.br/a-empresa/por-dentro-da-santa-brigida/>>. Acesso em: 15/04/2022c.
- CAIO. Caio Induscar. Disponível em: <<https://caio.com.br/sobre>>. Acesso em: 13/04/2022a.
- CAIO. APACHE VIP V. Disponível em: <<https://caio.com.br/apachev/>>. Acesso em: 14/04/2022b.
- CAIO. Caio Millenium BRT. Disponível em: <<https://caio.com.br/produto/millennium-versao-brt-ii-11.html>>. Acesso em: 14/04/2022c.
- _____. CAIO Biarticulado. Disponível em: <<https://caio.com.br/produto/millennium-versao-topbus-tipo-biarticulado-15.html>>. Acesso em: 14/04/2022d.
- _____. CAIO Superarticulado. Disponível em: <<https://caio.com.br/produto/millennium-versao-brt-ii-tipo-superarticulado-14.html>>. Acesso em: 14/04/2022e.
- CBA - COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. Disponível em: <<https://cba.com.br/cba/>>. Acesso em: 30/03/2022.
- DAIMLER. Daimler Annual Report 2021. Disponível em: <<https://www.daimlertruck.com/documents/investors/reports/annual-reports/daimler-truck-ir-annual-report-2021-incl-combined-management-report-dth-ag.pdf>>. Acesso em: 10/04/2022.

- DIÁRIO DO TRANSPORTE. Chassis Scania Articulado Motor Traseiro. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2019/11/25/scania-portfolio-completo-para-clientes-de-todo-o-brasil/>>. Acesso em: 25/03/2022a.
- DIÁRIO DO TRANSPORTE. Diário do Transporte. <https://diariodotransporte.com.br/2019/11/25/scania-portfolio-completo-para-clientes-de-todo-o-brasil/>, 25 nov. 2019b. Acesso em: 04/06/2023.
- EATON. Disponível em: <<http://www.eaton.com.br/EatonBR/NossaEmpresa/Opera%C3%A7%C3%B5es/index.htm>>. Acesso em: 04/04/2022a.
- _____. Eaton Annual Report 2021. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/company/investor-relations/annual-report/Eaton-annual-report-2021-web.pdf>>. Acesso em: 13/04/2022b.
- ESTADÃO. Bosch Apoiar a Volkswagen no desenvolvimento do primeiro caminhão brasileiro 100% elétrico, 2021. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/meios-de-transporte/bosch-apoia-a-volkswagen-no-desenvolvimento-do-primeiro-caminhao-brasileiro-100-eletrico/>. Acesso em: 20/11/2022.
- FABUS - Associação Nacional dos Fabricantes de Ônibus, 2021. Disponível em: <<https://www.fabus.com.br/>>. Acesso em: 14/04/2022.
- FIEP - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PARANÁ. Rol de Cadeias Produtivas -Complexo Automotivo, 2010.
- GERDAU. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/sobre-nos/perfil>>. Acesso em: 30/04/2022.
- HOLSET. Disponível em: <<https://www.cummins.com/pt-br/br/produtos/turbos>>. Acesso em: 02/04/2022.
- INSTITUTO DE ENGENHARIA. Tribologia: mais eficiência e menos desgaste nos motores, 2015. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2015/12/04/tribologia-mais-eficiencia-e-menos-desgaste-nos-motores/>. Acesso em: 01/12/2022.
- ISTO É DINHEIRO. Scania assegura investimento no Brasil prometido antes da pandemia, 2020. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/scania-assegura-investimento-no-brasil-de-r-14-bi-prometido-antes-da-pandemia/>. Acesso em: 11/04/2022.
- ISTO É DINHEIRO. Volvo anuncia investimentos de 15 bi no Brasil após resultado histórico/, <https://www.istoedinheiro.com.br/volvo-anuncia-investimentos-de-r-15-bi-no-brasil-apos-resultado-historico/>, 2022. Acesso em 11/04/2022.
- LEAR. Disponível em: <<https://www.lear.com/newsroom/lear-corporation-breaks-ground-on-new-facility-in-flint>>. Acesso em: 03/04/2022a.
- _____. Lear Reports Fourth Quarter and Full Year 2021 Results and Provides Full Year 2022 Outlook. 2022b.
- LEONI. Disponível em: <<https://www.leoni.com/en/>>. Acesso em: 04/04/2022.
- MAHLE. Mahle Resultado 2019. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/6b90b8ef-4914-4021-8296-c5aca7b388eb/21b28553-fcf3-2463-39c6-db951fa3e96d?origin=2>>. Acesso em: 13/04/2022.
- MAHLE. Mahle. Disponível em: <<https://www.br.mahle.com/pt/about-mahle/>>. Acesso em: 31/03/2022.
- MARCOPOLO. Fábrica Marcopolo Ana Rech Completa 35 anos. Disponível em: <<https://www.marcopolo.com.br/marcopolo/comunicacao/noticias/marcopolo-ana-rech-maior-fabrica-de-onibus-do-brasil-completa-35-anos>>. Acesso em: 12/04/2022.
- _____. A História da Marcopolo. Disponível em: <<https://www.marcopolo.com.br/marcopolo/a-marcopolo/nossa-historia>>. Acesso em: 12/04/2022a.
- _____. Carroceria Torino. Disponível em: <<https://www.marcopolo.com.br/marcopolo/torino-1>>. Acesso em: 12/04/2022b.
- _____. Carroceria Viale BRT. Disponível em: <<https://www.marcopolo.com.br/marcopolo/viale-brt>>. Acesso em: 12/04/2022c.
- _____. Carroceria Viale BRS. Disponível em: <<https://www.marcopolo.com.br/marcopolo/viale-brs>>. Acesso em: 12/04/2022d.
- _____. Informe de Resultados 2021. Acesso em: 12/04/2022e.
- MERCEDES-BENZ. Mercedes-Benz OF1721 - Motor Dianteiro. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/onibus/onibus-urbano/of-1721>>. Acesso em: 23/03/2022a.
- _____. Mercedes-Benz O500 U OM 926 LA 256 cv. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/onibus/onibus-urbano/o-500-u>>. Acesso em: 23/03/2022b.
- _____. Mercedes-Benz. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/onibus/onibus-urbano/oh-1621-l>>. Acesso em: 10/04/2022e.

- ____ Mercedes-Benz. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/onibus/onibus-urbano/0-500-u>>. Acesso em: 10/04/2022f.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa de controle de emissões veiculares (Proconve), 2016. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculos-proconve>>. Acesso em: 21/03/2022.
- NORSK HYDRO. Norsk Hydro. Disponível em: <<https://www.hydro.com/pt-BR/imprensa/visao-geral-da-hydro/>>. Acesso em: 30/03/2022.
- NOVELIS. Novelis. Disponível em: <<https://pt-br.novelis.com/about-us/>>. Acesso em: 30/03/2022.
- O ESTADO DE MINAS. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2016/03/28/internas_economia,747758/duas-foram-as-fabricas-fechadas-da-pk-em-2015.shtml, 2016. Acesso em 30/03/2022.
- PKC GROUP. Disponível em: <<https://www.pkcgroup.com/about-pkc-group/history.html>>. Acesso em: 03/04/2022.
- RUASINVEST. Grupo Ruas. Disponível em: <<http://ruasinvest.com/quem-somos.php>>. Acesso em: 13/04/2022.
- SCANIA. Disponível em: <<https://www.scania.com/latinamerica/pt/home/Scania-Latin-America/Historia.html>>. Acesso em: 11/04/2022a.
- SINDIPEÇAS. Fornecedores. Disponível em: <https://www.sindipecas.org.br/associados_e_produtores/>. Acesso em: 14/04/2022.
- TRATON. Traton 2021 Annual Report. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://ir.traton.com/download/companies/traton/Annual%20Reports/DE000TRATON7-JA-2021-EQ-E-00.pdf>>. Acesso em: 10/04/2022.
- VENTURA, L. M. Seminário sobre Emissões de Veículos a Diesel: Ações para Atendimento aos Novos Limites do Proconve – Fase 7. São Paulo, 2009. Disponível em: <https://docplayer.com.br/12920204-Proconve-p7-seminario-sobre-emissoes-de-veiculos-a-diesel-as-tecnologias-necessarias-acoes-para-atendimento-aos-novos-limites-do-proconve-fase-7.html>. Acesso em: 14/04/2022.
- VIAURBANA. Disponível em: <https://viacaourbana.com.br/a-via-urbana/>. Acesso em: 15/04/2022.
- VOLVO. Disponível em: <https://www.volvogroup.com/br/about-us.html>. Acesso em: 11/04/2022a.
- ____ Disponível em: <https://www.volvogroup.com/content/dam/volvo-group/markets/master/investors/reports-and-presentations/annual-reports/annual-and-sustainability-report-2021.pdf>. Acesso em: 11/04/2022b.
- ____ Disponível em: <https://www.volvobuses.com/br/Urbano/b27of-fretamento/specifications.html>. Acesso em: 11/04/2022c.
- ____ Disponível em: <https://www.volvobuses.com/br/Urbano/b25or-b25orle.html>. Acesso em: 11/04/2022d.
- ____ Disponível em: <https://www.volvobuses.com/br/Urbano/b34om-articulado-biarticulado.html>. Acesso em: 11/04/2022e.
- VWCO. VW17.230 OD Informativo Técnico VWCO. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/359557554/Argumentacao-17-230-Od>>. Acesso em: 10/04/2022.
- ____ VWCO Institucional. Disponível em: <https://www.vwco.com.br/institucional>. Acesso em: 10/04/2022a.
- ____ Consórcio Modular. Disponível em: <https://www.vwco.com.br/institucional/3>. Acesso em: 10/04/2022b.
- ____ Disponível em: <https://www.vwco.com.br/onibus/Urbano/15.190OD?id=5&productid=52>. Acesso em: 10/04/2022c.
- ____ Disponível em: <https://www.vwco.com.br/onibus/Urbano/17.280OT?id=5&productid=55>. Acesso em: 10/04/2022d.
- ____ Disponível em: <https://www.vwco.com.br/onibus/Urbano/18.280OTSLE?id=5&productid=59>. Acesso em: 10/04/2022e.
- ZF. Disponível em: https://www.zf.com/brazil/pt/company_history_in_brazil/zf_no_brasil.html#unde_fined. Acesso em: 02/04/2022a.
- ____ ZF Resultados 2021. Disponível em: https://press.zf.com/press/pt/releases/release_36800.html. Acesso em: 13/04/2022b.

Referências Bibliográficas capítulo 3

- AGÊNCIA TRANSPORTA BRASIL. Disponível em: <https://www.transportabrasil.com.br/2021/05/caminhoes-eletricos-fnm-rodam-com-transmissao-automatizada-eaton/>. Acesso em: 20/11/2022.
- ANDERSSON, M., LJUNGGREN SÖDERMAN, M., & SANDÉN, B. A. Are scarce metals in cars functionally recycled? *Waste Management*, 60, 407–416, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.031>. Acesso em: 25/05/2023.
- AUTODATA. ZF fornecerá sistemas para ônibus elétrico da Higer Bus, 2022. Disponível em: <https://www.autodata.com.br/curtas-algo-mais/2022/01/17/zf-fornecera-sistemas-para-onibus-eletrico-da-higer-bus/35029/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. Plano nacional de semicondutores deve ser finalizado em até 90 dias. Disponível em: <https://www.autodata.com.br/noticias/2022/05/05/plano-nacional-de-semicondutores-deve-ser-finalizado-em-ate-90-dias/38787/>. Acesso em: 20/11/2022
- AUTOMOTIVE BUSINESS. BYD produz seu primeiro chassi de ônibus articulado e elétrico no país, 2020. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/byd-produz-seu-primeiro-chassi-de-onibus-articulado-e-eletrico-no-pais/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. Meritor aumenta investimento na fábrica de Osasco, 2021. Disponível em: <https://automotivebusiness.com.br/pt/posts/setor-automotivo/meritor-aumenta-investimento-na-fabrica-de-osasco/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. BYD e Marcopolo desenvolvem ônibus elétrico articulado, 2020. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/byd-e-marcopolo-desenvolvem-onibus-eletrico-articulado/>. Acesso em: 20/11/2022.
- AUTOMOTIVE LOGISTICS. Disponível em: <https://www.automotivelogistics.media/ev-supply-chains-shifting-currents/18168.article>. Acesso em: 20/11/2022.
- AUTOMOTIVE NEWS, 2021. Disponível em: <https://www.autonews.com/awards/2021-lear-battery-disconnect>. Acesso em: 20/11/2022.
- AUTOMOTIVE WORLD. Lear to supply advanced connectivity and Vehicle positioning solutions to global electric vehicle manufacturer, 2021. Disponível em: <https://www.automotiveworld.com/news-releases/lear-to-supply-advanced-connectivity-and-vehicle-positioning-solutions-to-global-electric-vehicle-manufacturer/>. Acesso em: 20/11/2022.
- BARASSA, E.; CRUZ, F. R.; FARIA, L. G. D.; TANURE, T. M. P.; RODRÍGUEZ, T. B.; RIGON, V. Oferta de ônibus elétrico no Brasil em um cenário de recuperação econômica de baixo carbono. Cepal, 2022. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47833/1/S2100966_pt.pdf. Acesso em: 22/05/2023.
- BOSCH Tecnologia para a Vida. Disponível em: <https://www.boschtreinamentoautomotivo.com.br/pt-br/cursos/cursos-tecnicos/sistemas-de-veiculos-hibridos.html>. Acesso em: 20/11/2022.
- BYD. Disponível em: <https://www.byd.com.br/sobre/>. Acesso em: 11/11/2022.
- BYD. UNICAMP, em parceria com CPFL Energia, inicia operação de ônibus 100% elétrico BYD, 2020. Disponível em: <https://www.byd.com.br/unicamp-em-parceria-com-cpfl-energia-inicia-operacao-de-onibus-100-eletrico-byd/>. Acesso em: 22/11/2022.
- CANALENERGIA. Aneel lança chamada de P&D sobre mobilidade elétrica, 2019. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53095790/aneel-lanca-chamada-de-pd-sobre-mobilidade-eletrica>. Acesso em: 22/11/2022.
- CHARGED EV FLEET & INFRASTRUCTURE NEWS. Disponível em: <https://chargedevs.com/newswire/greenpower-beast-electric-type-d-school-bus-features-an-integrated-body-and-chassis-design/>. Acesso em: 20/11/2022.
- CPG Click Petróleo e Gás. Montadora Chinesa Higer Bus assina acordo com o Governo do Ceará para construir nova Fábrica de Ônibus Elétricos no Estado, 2022. Disponível em: <https://clickpetroleoegas.com.br/montadora-chinesa-higer-bus-assina-acordo-com-governo-do-ceara-para-construir-nova-fabrica-de-onibus-eletricos-no-estado/>. Acesso em: 20/11/2022.
- DANA. Disponível em: <https://dana.com.br/>. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. 71 anos de atividade no Brasil, 2018. Disponível em: <https://dana.com.br/dana-informa/dana-71-anos-de-atividades-no-brasil/>. Acesso em: 11/11/2022.

- DIÁRIO DO TRANSPORTE. Todos os ônibus da Volvo serão elétricos em 2030, 2022. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2022/02/02/todos-os-onibus-urbanos-da-volvo-serao-eletricos-em-2030/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. Comil lança ônibus rodoviário 100% elétrico com chassi BYD, 2020. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2020/10/16/comil-lanca-onibus-rodoviario-100-eletrico-com-chassi-byd/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. SPTtrans Analisa carroceria Mascarello de ônibus elétrico para homologação pelo padrão da cidade, 2020. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2020/05/19/sprtrans-analisa-carroceria-mascarello-de-onibus-eletrico-para-homologacao-pelo-padrao-da-cidade/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. VIX Logística e EDP operam ônibus rodoviário 100% elétrico da BYD no Espírito Santo, 2020. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2020/10/22/vix-logistica-e-edp-operam-onibus-rodoviario-100-eletrico-da-byd-no-espírito-santo/>. Acesso em 22/11/2022.
- EATON Powering Business Worldwide. Disponível em: <https://www.eaton.com/hu/en-gb/company/news-insights/news-releases/2018/eaton-takes-aim-at-vehicle-electrification-market-with-new-emobi.html>. Acesso em: 20/11/2022.
- ELETRA. Disponível em: <https://www.eletrabus.com.br/>. Acesso em: 11/11/2022.
- ENEL. Disponível em: <https://www.enel.com.br/>. Acesso em: 22/11/2022.
- EPBR. Goiás e Enel X testam articulado 100% elétrico no transporte coletivo, 2022. Disponível em: <https://epbr.com.br/goias-e-enel-x-testam-articulado-100-eletrico-no-transporte-coletivo/>. Acesso em: 22/11/2022.
- ESTADÃO. Enel X tem as melhores estratégias para o transporte público eletrificado, 2021. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/inovacao/enel-x-tem-as-melhores-estrategias-para-o-transporte-publico-eletrificado/>. Acesso em: 22/11/2022.
- FLEET EQUIPMENT. Disponível em: <https://www.fleetequipmentmag.com/truck-electric-axle-age/>. Acesso em: 20/11/2022.
- GÖHLICH, D., LY, T.-A., KUNITH, A., EFFERIES, D. Economic assessment of different air-conditioning and heating systems for electric city buses based on comprehensive energetic simulations. *World Electric Vehicle Journal*, 7(3), 398–406, 2015.
- GLOBAL ELETRONICS. Disponível em: <https://www.globus.com.br/>. Acesso em: 11/11/2022.
- HE, H., YAN, M., SUN, C., PENG, J., LI, M., & JIA, H. Predictive air-conditioner control for electric buses with passenger amount variation forecast☆. *Applied Energy*, 227, 249–261, 2018.
- HIGER BRAZILIAN MARKET. Disponível em: <https://www.higer.com.br/eletrico>. Acesso em: 20/11/2022.
- IDTECHEX. Disponível em: <https://www.idtechex.com/en/research-report/materials-for-electric-vehicles-electric-motors-battery-cells-and-packs-hv-cabling-2020-2030/770>. Acesso em: 20/11/2022.
- INSIDEEVS. Bosch apresenta motor elétrico que entrega até 97% de eficiência, 2021. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/536776/bosch-motor-eletrico-veiculos-comerciais/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. Volvo terá produção de ônibus e caminhões elétricos no Brasil. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/565325/volvo-onibus-caminhoes-eletricos-brasil/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. Volvo testa primeiro ônibus elétrico na América do Sul, 2021. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/554490/volvo-onibus-eletrico-america-sul/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. Eletra anuncia nova fábrica de ônibus elétricos em São Paulo, 2022. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/587146/fabrica-onibus-eletricos-eletra-brasil/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. Ônibus elétricos da BYD começam a circular no Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/546217/enelx-onibus-eletricos-rio/>. Acesso em: 22/11/2022.
- JONES, B., ELLIOTT, R. J. R., & NGUYEN-TIEN, V. The EV revolution: The road ahead for critical raw materials demand. *Applied Energy*, 280, 115072. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2020.115072>, 2020.
- MAO, S., BASMA, H., YANG, L. Mobile air conditioning system series: Market status and a case (ICT Working Paper 2022-05), 2022.
- MARCOPOLO. Disponível em: <https://www.marcopolo.com.br/marcopolo/comunicacao/noticias/marcopolo-viaggio-1050-byd-100-eletrico-inova-transporte-gaucha>. Acesso em: 20/11/2022.
- METALSA. Disponível em: <https://www.metalisa.com/home>. Acesso em: 20/11/2022.

- O MECÂNICO. Valeo compra a Spheros, fabricante brasileira de ar-condicionado para ônibus, 2018. Disponível em: <https://omecanico.com.br/valeo-compra-spheros-fabricante-brasileira-de-ar-condicionado-para-onibus/>. Acesso em: 20/11/2022.
- ÔNIBUS E TRANSPORTE. Weg fornece estações de recarga para ônibus elétrico da Mercedes-Benz, 2-22. Disponível em: <https://onibusetransporte.com/2021/08/31/weg-fornece-estacoes-de-recarga-para-fabrica-de-onibus-eletricos-da-mercedes-benz/>. Acesso em: 20/11/2022.
- PARANAPANEMA. Disponível em: <https://www.paranapanema.com.br/show.aspx?idCanal=U1XvSWZEoblkr3yyZPNsHQ==>. Acesso em: 20/11/2022.
- PLANETA CAMINHÃO. Disponível em: <https://planetacaminhao.com.br/noticias/ver/2279/higer-bus-estreia-seu-primeiro-nibus-eltrico-com-a-zf-como-fornecedora>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. Higer Bus estreia seu primeiro ônibus elétrico com a ZF como fornecedora, 2022. Disponível em: <https://planetacaminhao.com.br/noticias/ver/2279/higer-bus-estreia-seu-primeiro-nibus-eltrico-com-a-zf-como-fornecedora>. Acesso em: 20/11/2022.
- PROFF, H., FOJCIK, T. M., & KILIAN, D. Value added and competences in the transition to electric mobility-an analysis of the European automotive industry. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 15(1), 20–42, 2015.
- REHEM Ar-condicionado para Ônibus. Disponível em: <https://www.rehem.ind.br/a-c-bus-el100/>. Acesso em: 11/11/2022.
- SCIENTIFIC AMERICAN. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/chip-shortage-threatens-bidens-electric-vehicle-plans-commerce-secretary-says/>. Acesso em: 20/11/2022.
- SUSPENSYS. Disponível em: <https://www.suspensys.com/pt/noticias/sistema-e-sys-inova%C3%A7%C3%A3o-para-o-mercado-de-carga/>. Acesso em: 20/11/2022.
- TECHNIBUS. A Marcopolo apresenta seu primeiro ônibus 100% elétrico, o Marcopolo Attivi, desenvolvido no Brasil em parceria com fornecedores nacionais. O modelo tem 13,25 metros, capacidade para 89 passageiros e autonomia de cerca de 250 quilômetros, 2021. Disponível em: <https://technibus.com.br/2021/12/07/a-marcopolo-apresenta-seu-primeiro-onibus-100-eletrico-o-marcopolo-attivi-desenvolvido-no-brasil-em-parceria-com-fornecedores-nacionais-o-modelo-tem-1325-metros-capacidade-para-89-passageiros-e-a/>. Acesso em: 20/11/2023.
- TECHNIBUS. Ônibus brasileiro recebe primeiro ar-condicionado movido a energia solar, 2018. Disponível em: <https://technibus.com.br/2022/03/30/onibus-brasileiro-recebe-primeiro-ar-condicionado-movido-a-energia-solar/>. Acesso em: 20/11/2022.
- _____. A Marcopolo apresenta seu primeiro ônibus 100% elétrico, O Marcopolo Attivi, desenvolvido no Brasil em parceria com fornecedores nacionais. O modelo tem 13,25 metros, capacidade para 89 passageiros e autonomia de cerca de 250 quilômetros, 2021, Disponível em: <https://technibus.com.br/2021/12/07/a-marcopolo-apresenta-seu-primeiro-onibus-100-eletrico-o-marcopolo-attivi-desenvolvido-no-brasil-em-parceria-com-fornecedores-nacionais-o-modelo-tem-1325-metros-capacidade-para-89-passageiros-e-a/>. Acesso em: 20/11/2022.

Referências Bibliográficas capítulo 4

- ADAMS, W.; BENNETT, A. Untangling multiple drivers of battery material markets. *Metal Market Magazine*, London, 2021.
- AGÊNCIA MINAS. Zema anuncia investimento no valor de R\$ 25 bi com instalação de fábrica de veículos elétricos na RMBH, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/zema-anuncia-investimento-no-valor-de-r-25-bi-com-instalacao-de-fabrica-de-veiculos-eletricos-na-rmbh>. Acesso em: 04/04/2022.
- ALBEMARLE. Investor Presentation. [S.l.], p. 45, 2022.
- ALBEMARLE. Lithium. Disponível em: <https://www.albemarle.com/offerings/lithium>. Acesso em: 22/11/2022.
- AMG LITHIUM. Disponível em: <https://amglithium.com/solutions/resources>. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. Inovação. Disponível em: <https://amglithium.com/solutions/innovation>. Acesso em: 22/11/2022.
- APEX BRASIL. Portal Apex Brasil. Notícias, 2021. Disponível em: <https://portal.apexbrasil.com.br/noticia/acordo-entre-a-apex-brasil-e-a-empresa-bravo-motor-company-contribuira-para-atracao-de-us-40-bi-em-investimentos-estrangeiros/>. Acesso em: 29/04/2022.

- AUIN – Agência Unesp de Inovação. Unesp e empresa Energy Source firmam contrato de licenciamento de tecnologia para reciclagem de baterias de íon lítio, 2020. Disponível em: <https://auin.unesp.br/noticias/533/unesp-e-empresa-energy-source-firmam-contrato-de-licenciamento-de-tecnologia-para-reciclagem-de-baterias-de-ion-litio>. Acesso em: 01/12/2022.
- AVICENNE. Lithium-Ion Battery Raw Material Supply and Demand 2016-2025. Disponível em: <http://www.avicenne.com/pdf/Lithium-Ion%20Battery%20Raw%20Material%20Supply%20and%20Demand%202016-2025%20C.%20Pilot%20-%20M.%20Sanders%20Presentation%20at%20AABC-US%20San%20Francisco%20June%202017.pdf>. 2017. Acesso em: 04/04/2022.
- AVICENNE ENERGY. The rechargeable battery market and main trends 2020-2030. [S.l.]. 2022.
- BEST, A.; VERNON, C. State of Play, Australia's Battery Industries as at March 2020. Australia, p. 96. 2020.
- BMC. Bravo Motor Company, 2022? Disponível em: <https://bravomotorcompany.com/#we>. Acesso em: 29/04/2022.
- BMW GROUP. BMW Group Brasil, Energy Source e WEG ampliam parceria para mobilidade elétrica sustentável no Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.press.bmwgroup.com/brazil/article/detail/T0379333PT?language=pt>. Acesso em: 01/12/2022.
- BOEIRA, J. L. F. Estruturação da Cadeia de Valor de Baterias de Íons de Lítio no Brasil: Proposta de Trabalho. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Rio de Janeiro. 2018.
- BOON-BRETT, L.; LEBEDEVA, N.; PERSIO, F. D. Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe. European Commission, Joint Research Centre. Luxembourg, p. 81. 2017.
- BYD. Relatório de Sustentabilidade 2020. Build Your Dreams. Campinas, p. 33. 2021. Disponível em: <https://www.byd.ind.br/2020/wp-content/uploads/2021/05/Relato%CC%81rio-de-Sustentabilidade-2020.pdf>, acesso em: 11/11/2022.
- BYD. Linha do Tempo. Disponível em: <https://www.byd.com.br/linha-do-tempo/>. Acesso em: 11/11/2022.
- CARVALHO, A. Valor 1000: Baterias Moura tem bons ganhos com reposição e exportação. Valor Econômico, 2021. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2021/09/29/valor-1000-baterias-moura-tem-bons-ganhos-com-reposicao-e-exportacao.ghtml>. Acesso em: 01/12/2022.
- CASTELLO, A.; KLOSTER, M. Industrialización del litio y agregado de valor local. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Buenos Aires, p. 121, 2015.
- CASTRO, B. et al. Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. In: BNDES Setorial. Rio de Janeiro: [s.n.], v. , mar. p. 443-496, 2013.
- CBL- Companhia Brasileira de Lítio. Disponível em: <https://cblitio.com.br/a-empresa/>. Acesso em: 11/11/2022.
- CBMM. Disponível em: <https://cbmm.com/pt/>. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. CBMM define parceria com a Toshiba para produção de baterias automotivas de recarga ultra rápida, 2018. Disponível em: <https://cbmm.com/pt/Our-Company/Noticias/Articles/CBMM-e-parceria-com-a-Toshiba>. Acesso em: 01/12/2022.
- _____. VW Caminhões e Ônibus e CBMM fecham parceria inédita para desenvolvimento de baterias automotivas com nióbio. Disponível em: <https://cbmm.com/pt/Media-Center/Noticias/Noticias-Internas/VW-Caminhoes-e-Onibus-e-CBMM-fecham-parceria-no-desenvolvimento-de-baterias-automotivas-com-Niobio>. Acesso em: 01/12/2022.
- CETEM. CETEM organiza o II seminário sobre lítio-Brasil, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/noticias/cetem-organiza-o-ii-seminario-sobre-litio2016brasil>. Acesso em: 22/11/2022.
- _____. III seminário sobre lítio Brasil: desafios para o desenvolvimento da cadeia do lítio no país, 2018. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/antigo/iii-seminario-litio-brasil>. Acesso em: 22/11/2022.
- CHUNG, D.; ELGQVIST, E.; SANTHANAGOPALAN, S. Automotive Lithium-ion Battery (LIB) Supply Chain and U.S. Competitiveness Considerations. Clean Energy Manufacturing Analysis Center. [S.l.], p. 41, 2015.
- CODEMGE – Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais, 2018. Disponível em: <http://www.codemge.com.br/governo-de-minas-gerais-acquire-participacao-na-companhia-brasileira-de-litio/>. Acesso em: 01/12/2022.
- _____. Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais. Companhia Brasileira de Lítio, 2022. Disponível em: <http://www.codemge.com.br/investidores/cbl/>. Acesso em: 01/12/2022.
- COLTHORPE, A. LFP to dominate 3TWh global lithium-ion battery market by 2030, 2022.
- CPQD. Disponível em: <https://www.cpqd.com.br>. Acesso em 11/11/2022.

- _____. O modelo EMBRAPII. Disponível em: <https://www.cpqd.com.br/inovacao/embrapii/>. Acesso em: 22/11/2022.
- CPOD. PD&I sob encomenda. Disponível em: <https://www.cpqd.com.br/solucoes/pdi/>. Acesso em: 22/11/2022.
- CRU. Lithium Market Outlook. London, 2017.
- EAE MÁQUINAS. TUPY firma parceria com a USP para pesquisa de reciclagem, 2021. Disponível em: <https://eaemaq.com.br/noticias-do-mercado/tupy-firma-parceria-com-a-usp-para-pesquisa-de-reciclagem/>. Acesso em: 01/12/2022.
- ELEMENTS. Lithium Consumption Has Nearly Quadrupled Since 2010., 2022. Disponível em: <https://elements.visualcapitalist.com/lithium-consumption-has-nearly-quadrupled-since-2010/>. Acesso em: 22/11/2022.
- ELIOTÉRIO, A.A.; GONÇALVES, F.M.; PAULINO, G.M.; ALEXANDRINO, J.S. Caracterização mineralógica de pegmatitos litíferos da região de Araçuaí – MG. Revista Eletrônica Engenharia de Interesse Social VOL. 1, NUM. 4, 2019.
- EMBRAPII – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. Disponível em: <https://embrapii.org.br/unidades/instituto-senai-de-inovacao-em-eletoquimica/>. Acesso em: 11/11/2022.
- ENERGY SOURCE. Tecnologia Sustentável. Disponível em: <https://www.energysource.com.br>. Acesso em: 11/11/2022.
- ENERGY STORAGE. *The three things the US needs to catch up with Europe's battery gigafactory charge*, 2022. Disponível em: <https://www.energy-storage.news/the-three-things-the-us-needs-to-catch-up-with-europes-battery-gigafactory-charge/>. Acesso em: 22/11/2022.
- EU. Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery. European Union. Brussels, p. 212, 2021.
- FASTMARKETS. Disponível em: <https://www.fastmarkets.com/metal-bulletin-is-part-of-fastmarkets>. Acesso em: 22/11/2022.
- FUNDEP. Fundação de apoio da UFMG. Mobilidade elétrica, 2021. Disponível em: <https://www.fundep.ufmg.br/fundep-ufmg-bh-tec-apoiam-instalacao-bravo-motor-company-minas-gerais/>. Acesso em: 29 Abril 2022.
- FUTURE SMART STRATEGIES. *A lithium industry in Australia: A value chain analysis for downstreaming Australia's lithium resources*. North Perth, 2018.
- GIELEN, D. Critical Materials for the Energy Transition. International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi, 2021.
- HANNAH, P. Why the lithium market needs to take a leap of faith on pricing. Fastmarkets, 2021. Disponível em: <https://www.fastmarkets.com>. Acesso em: 06/05/2022.
- HE, K.; YEH, Y. T. Battery Manufacturing Basics from CATL's Cell Production Line (Part 1). Battery Bits, 13, 2021.
- IBGE. PIA Empresa-Tabela 7238. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília. 2020.
- _____. PIA Produto. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [S.l.], 2020a.
- IEA. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. Paris, p. 287. 2022.
- IEA-OECD. Global EV Outlook 2018. Paris, p. 139, 2018.
- INSIDEEVs. *Toshiba Launches New 20Ah-HP SCiB Battery Cells*, 2022. Disponível em: <https://insideevs.com/news/560513/toshiba-20ahhp-scib-battery-cells/>. Acesso em: 01/12/2022.
- INVESTCHILE. Empresas da China, Rússia, Coreia do Sul, Bélgica e Chile avançam para a segunda fase da licitação de lítio, 2017. Disponível em: <https://www.investchile.gob.cl/companies-from-china-russia-south-korea-belgium-and-chile-go-on-to-second-stage-of-lithium-bid/>. Acesso em: 22/11/2022.
- ITEMM – Instituto de Tecnologia Edson Mororó Moura. Disponível em: <https://www.itemm.org.br/>. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. ITEMm e a Universidade de Pernambuco (UPE) firmam importante acordo de cooperação técnica, 2021. Disponível em: <https://www.itemm.org.br/novidades/itemm-e-upe-firmam-acordo-de-cooperacao-tecnica/>. Acesso em: 2/11/2022.
- KUTNEY, P. E-Delivery é primeiro passo brasileiro rumo à eletrificação. Automotive Business, 2021. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/e-delivery-e-primeiro-passo-brasileiro-rumo-a-eletrificacao/>. Acesso em: 01/12/2022.

- _____. VWCO lança o e-Delivery em SP e RJ com 58 empresas interessadas. *Automotive Business*, 2021. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/vwco-lanca-o-e-delivery-em-sp-e-rj-com-58-empresas-interessadas/>. Acesso em: 01/12/2022.
- LAGUARDIA, H. O Tempo. AMG Mineração investe R\$ 650 milho no Projeto Lítio, 2018. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/economia/amg-mineracao-investe-r-650-milhoes-no-projeto-litio-1.1612174> e <http://excellbombas.com.br/blog/amg-mineracao-investe-r-650-milhoes-no-projeto-litio/>. Acesso em: 22/11/2022.
- LAROCCA, G. M. *Global Value Chains: Lithium in Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles*. US International Trade Commission. [S.l.], p. 39, 2020.
- LATIN RESOURCES. *Developing minerals to provide the planet with environmentally sustainable products*. [S.l.], p. 23, 2022. Disponível em: <https://www.latinresources.com.au>. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. *Salinas Lithium Project, Brazil*. Disponível em: <https://www.latinresources.com.au/salinas-lithium-project-brazil/>. Acesso em: 01/12/2022.
- LME. *About Lithium*. Disponível em: <https://www.lme.com/Metals/EV/About-Lithium>. Acesso em: 22/11/2022.
- MAYYAS, A.; STEWARD, D.; MANN, M. *The Case for Recycling: Overview and Challenges in the Material Supply Chain for Automotive Li-ion Batteries*. *Sustainable materials and technologies*, Golden, 19, 2019.
- MERCADO & CONSUMO. WEG inicia produção de sistemas de baterias para veículos elétricos, 2022. Disponível em: <https://mercadoeconsumo.com.br/21/04/2022/sustentabilidade/weg-inicia-producao-de-sistemas-de-baterias-para-veiculos-eletricos/?cn-reloaded=1>. Acesso em: 01/12/2022.
- MHE – Museu de Minerais, Minérios e rochas Heinz Ebert. Disponível em: <https://museuhe.com.br/mineral/espodumenio-spodumene/>. Acesso em: 22/11/2022.
- MOURA. Disponível em: <https://www.moura.com.br/moura-litio/#sobre>. Acesso em: 11/11/2022.
- NIOBIUM HUB. Disponível em: <https://niobium.tech/pages/content-pages/horwin-brasil-and-cbmm-partner-ship-in-electric-motorcycles.?pagenumber=1>. Acesso em: 01/12/2022.
- NERIS, A. *Parceria promove sustentabilidade com a reutilização de materiais de íon de lítio em larga escala*. ALDO.BLOG, 2021. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/blog/parceria-promove-sustentabilidade-com-a-reutilizacao-de-baterias-de-ion-de-litio-em-larga-escala/>. Acesso em: 01/12/2022.
- PANASONIC ENERGY. Disponível em: <https://www.panasonic.com/global/energy/products/battery/profile/history.html#1971>. Acesso em: 22/11/2022.
- PEREIRA, J. A.; SCHIAVI BÂNKUTI, S. M. *Estrutura de mercado e estratégia: um estudo na indústria brasileira de baterias automotivas*. *Revista Ibero Americana de Estratégia*, 15, n. 1, 2016.
- POLI-USP. Escola Politécnica da USP. Disponível em: <https://www.poli.usp.br/institucional/a-poli>. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. *Poli-USP anuncia parceria com empresa para o desenvolvimento de pesquisa em reciclagem*, 2021. Disponível em: *Poli-USP anuncia parceria com empresa para o desenvolvimento de pesquisa em reciclagem*. Acesso em: 22/11/2022.
- PRIMERO. *NI 43-101 Technical Report on Feasibility Study: Final Report – Grota do Cirilo Project*, 2019. [S.l.], 2019.
- _____. *Phase 2 (Barreiro) Update of The NI 43-101 Technical Report On Feasibility Study*. [S.l.], 2021.
- RUTKOSKY, K. "O lítio será uma moeda de alta procura no mundo", diz pesquisador. DW, 2012. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/o-l%C3%ADtio-ser%C3%A1-uma-moeda-de-alta-procura-no-mundo-diz-pesquisador/a-16384992>. Acesso em: 29/04/2022.
- SIGMA LITHIUM. *Sigma Lithium Corporation - BMO Presentation*. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://www.sigmalithiumresources.com>. Acesso em: 11/11/2022.
- SQM. *Annual Report 2021*. *Sociedad Química y Minera de Chile S.A.* Santiago, p. 370, 2022. Disponível em: <https://ir.sqm.com/English/financials/annual-reports/default.aspx>. Acesso em: 02/02/2023.
- TOSHIBA. *Toshiba, Sojitz and CBMM Partner to Commercialize Next-Generation Lithium-ion Batteries*, 2021. Disponível em: <https://www.global.toshiba/ww/news/corporate/2021/09/news-20210924-01.html>. Acesso em: 01/12/2022.
- _____. *Next-generation scib™ supporting smart mobility in the age of MAAS*. Disponível em: <https://www.global.toshiba/ww/products-solutions/battery/scib/next/nto.html>. Acesso em: 01/12/2022.
- TUPY. *Sobre a Tupy*. Disponível em: <https://www.tupy.com.br/sobre-a-tupy/>. Acesso em: 11/11/2022.

- _____. Reciclagem de baterias de veículos elétricos pode ser realidade no país em poucos anos, 2022. Disponível em: <https://www.tupy.com.br/reciclagem-de-baterias-de-veiculos-eletricos-pode-ser-realidade-no-pais-em-poucos-anos/>. Acesso em 22/11/2022.
- USGS. Mineral commodity summaries 2022. U.S. Geological Survey. [S.l.], p. 202, 2022. Disponível em: <https://www.usgs.gov/publications/mineral-commodity-summaries-2022>. Acesso em: 11/11/2022.
- VASCONCELOS, Y.; CHAVES, L. R. The niobium controversy. Pesquisa Fapesp, São Paulo, 2019.
- WEG. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/>. Acesso em: 11/11/2022.
- _____. WEG anuncia aquisição do negócio de turbinas eólicas "utility scale" da Northern Power Systems, 2016. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/corporativo/weg-anuncia-aquisicao-do-negocio-de-turbinas-eolicas-utility-scale-da-northern-power-systems>. Acesso em: 01/12/2022.
- _____. WEG fornece sistema de armazenamento de energia elétrica com baterias de íons de lítio para estação de recarga de veículos elétricos, em Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/weg-fornece-sistema-de-armazenamento-de-energia-eletrica-com-baterias-de-ions-de-litio-para-estacao-de-recarga-de-veiculos-eletricos-em-florianopolis>. Acesso em: 01/12/2022.
- _____. WEG vai produzir Sistema *Powertrain* de tração em série, 2019. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/weg-vai-produzir-sistema-powertrain-de-tracao-em-serie>. Acesso em: 01/12/2022.
- WOOD MACKENZIE. Global lithium-ion battery capacity to rise five-fold by 2030. [S.l.]. 2022.
- YAO, X.; PECHT, M. Tab Design and Failures in Cylindrical Li-ion Batteries, 7, 7, 2019.
- ZAPAROLLI, D. Foco nas baterias de lítio. Pesquisa Fapesp, São Paulo, n. 285, 2019.

Referências Bibliográficas capítulos 5 e 6

- CATARINO, L. C. Abordagem dos Modelos TRL, MRL e CMMI-DEV Aplicada ao Desenvolvimento de Pequenos e Médios Fornecedores da Cadeia Produtiva Espacial, 2014. 177F. Tese (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais. INPE São José dos Campos, SP, Brasil.
- CRUZ, R. Políticas industriais para a cadeia produtiva de ônibus elétricos: aprendizados e experiências baseadas no benchmarking internacional dos Estados Unidos, China, México e Holanda, 2022.
- PACTO GLOBAL. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/pg/esg>. Acesso em: 01/12/2022.
- SCHUMPETER, J. A. SCHUMPETER, Joseph Alois. Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

Apêndice

Quadro A1
Principais fabricantes de baterias automotivas instalados no Brasil

Empresa	Marcas	Origem de capital	Localização	Mercado de atuação	Porte
Moura	Moura, Zetta	Brasil	Belo Jardim (PE), Itapetininga (SP)	OEM, reposição, exportação	Grande
Johnson Controls	Heliar, Bosch, Optima, Varta, Freedom	EUA	Sorocaba (SP)	OEM, reposição, exportação	Grande
Ajax	Ajax	Brasil	Bauru (SP)	Reposição, exportação	Médio
Cral	Cral	Brasil	Bauru (SP)	Reposição, exportação	Médio
Tudor	Tudor	Brasil	Bauru (SP), Governador Valadares (MG)	Reposição, exportação	Médio
Baterax	Baterax, Woltrax, Energex	Brasil	Umuarama (PR)	Reposição	Pequeno
Camarotto	Camarotto	Brasil	Marmeleiro (PR)	Reposição	Pequeno
Eletran	Eletran	Brasil	Apucarana (PR)	Reposição	Pequeno
Enerbrax	Route	Brasil	Bauru (SP)	Reposição	Pequeno
GNB	Reifor, Herbo, Yokohama	Brasil	Londrina (PR)	Reposição	Pequeno
Inbracell	Excell	Brasil	Cachoeirinha (RS)	Reposição	Pequeno
Júpiter	Júpiter	Brasil	Cianorte (PR)	Reposição	Pequeno
Kania	Kondor, Fort Light, Dutra	Brasil	Rafard (SP)	Reposição	Pequeno
Newpower	Fulguris	Brasil	Guarulhos (SP)	Reposição	Pequeno
Pioneiro	Pioneiro, Piovox, Conectiva, Arazzo	Brasil	Treze Tílias (SC)	Reposição	Pequeno
Ranger	Extranger	Brasil	Apucarana (PR)	Reposição	Pequeno
Rondopar	Max, Fox, Impact, Prac	Brasil	Londrina (PR)	Reposição	Pequeno
Baterlife	Maxion	Brasil	Pinhalzinho (SC)	Reposição	Pequeno
Freelight	Freelight	Brasil	São José dos Campos (SP)	Reposição	Pequeno
Erbs	Erbs	Brasil	Botuverá (SC)	Reposição	Pequeno
HF	HF, Globo, Delta	Brasil	Rolândia (PR)	Reposição	Pequeno
Real	Real, Suprema, Forza, Discbal	Brasil	Realeza (PR)	Reposição	Pequeno

Fonte: (CASTRO, 2013) e (PEREIRA e SCHIAVI BÂNKUTI, 2016).

Quadro A2
Categorias de baterias a partir da química de cátodos e de ânodos

Química	Sigla	Comentários
Fosfato de ferro de lítio	LFP	Sem a presença de níquel, cobalto e manganês, as químicas LFP são comuns no mercado de veículos na China e no armazenamento estacionário em todo o mundo. Esta química gera menor energia específica (90-160 Wh/kg), mas é bastante tolerante a falhas, exceto pela umidade que encurta radicalmente a vida celular.
Óxido de alumínio de cobalto de níquel de lítio	NCA	Energias específicas de 200-260 Wh/kg (e até 300 Wh/kg) são excelentes, mas a confiabilidade sob altas taxas de descarga e baixas temperaturas térmicas de fuga tornam isso menos desejável que a NMC. É a química favorita da Panasonic/Tesla.
Cobalto de níquel de lítio	NMC	Atualmente, é a tecnologia dominante da bateria recarregável de lítio devido à alta energia específica (150-220 Wh/kg) e maior segurança à temperatura em comparação com a LCO.
Óxido de cobalto de lítio	LCO	A energia específica elevada (150-200 Wh/kg) torna o LCO uma escolha popular para dispositivos pequenos. A participação de mercado está sendo perdida para as químicas NMC e NCA, especialmente por causa do alto custo do cobalto.

Química	Sigla	Comentários
Óxido de manganês de lítio	LMO	Energias específicas na faixa de 100-150 Wh/kg não são tão significativas, mas esta química é capaz de fornecer altas taxas de descarga relativamente seguras. Mais comumente usado em ferramentas elétricas.
Grafite	GRAFITE	Uma química de ânodo comum. Tipicamente, o grafite artificial esférico é usado no ânodo devido à facilidade de fabricação, no entanto, esse processo é muito hostil ambientalmente. Atualmente, há um movimento em direção a fontes de grafite naturais que são potencialmente mais baratas e ambientalmente mais amigáveis para produzir.
Silício	SIM	Tipicamente encontrado como um composto com grafite devido aos potenciais de intercalação muito semelhantes para Li nessas estruturas. O Silício tem uma capacidade teórica específica próxima à do metal de lítio, mas sofre de mau desempenho na ciclabilidade devido à variação de volume de 400%. Atualmente a maioria das baterias tem entre 4% e 7% Si no ânodo, a fim de aumentar ainda mais a capacidade de ânodo.
Titanato de lítio	LTO	Titanato de lítio é uma química alternativa de ânodo. É bem conhecido por seu alto desempenho de taxa, pois é um "material de tensão zero", bem como nenhuma interface eletrólito sólido quando em contato com um eletrólito.

Fonte: (BEST e VERNON, 2020).

Quadro A3 Definições e conceitos gerais Manufacturing Readiness Level (MRL)

MRL	Descrição	Conceito
1	Implicações de Manufatura básica identificadas	É o nível mais baixo da escala. O objetivo é abordar deficiências e oportunidades necessários para atingir os objetivos do programa. É iniciado na forma de estudos. Um entendimento da viabilidade e riscos de manufatura começa a surgir.
2	Conceitos de manufatura identificados	É caracterizado por descrever a aplicação de novos conceitos de manufatura, incluindo estudos e análises de materiais e abordagens de processos.
3	Prova de conceito de manufatura desenvolvido	Os conceitos de manufatura são validados em laboratório. Esse é o nível de tecnologias em pesquisa aplicada e desenvolvimento avançado. Materiais e processos se mostram viáveis do ponto de vista de disponibilidade e de manufaturabilidade, mas avaliações adicionais e demonstrações são necessárias. Modelos de hardware são desenvolvidos em ambiente de laboratório com funcionalidades limitadas.
4	Capacidade de produzir a tecnologia em laboratório	Nesse nível, a tecnologia a ser produzida deve estar pelo menos no nível de maturidade TRL4. Processos que assegurem manufaturabilidade, produtividade e qualidade são suficientes para produzir tecnologia demonstrável. Riscos de manufatura são identificados na construção de protótipos e planos de mitigação começam a ganhar forma.
5	Capacidade de produzir protótipos de componentes em um ambiente de produção relevante	Base industrial foi identificada para identificar potenciais fabricantes. Protótipos de materiais, ferramentas, equipamentos de testes, bem como habilidades de pessoal são demonstradas, mas muitos processos e procedimentos de manufatura ainda estão em desenvolvimento. Tecnologia a ser produzida deve estar pelo menos no nível de maturidade TRL5.
6	Capacidade de produzir um protótipo de sistema ou subsistema em um ambiente de produção relevante	É normalmente visto como o nível de maturidade de manufatura que denota aceitação de um projeto preliminar de sistema. A maioria dos processos foram definidos e caracterizados, mas ainda existem grandes mudanças de design no sistema. Processos e tecnologias de manufatura de protótipos, materiais, ferramentas e equipamentos de teste, além de habilidades de pessoal foram demonstradas ao criar o sistema/subsistema.
7	Capacidade de produzir sistemas, subsistemas ou componentes em um ambiente de produção representativo	Corresponde a um ponto entre Engenharia e Desenvolvimento da Manufatura. A atividade de projeto detalhado do sistema está próxima do encerramento. As especificações de material foram finalizadas e materiais estão disponíveis para iniciar uma fabricação piloto. A cadeia produtiva e a garantia da qualidade dos fornecedores foi avaliada. Planos de fabricação e de metas de qualidade são desenvolvidos. Ferramentas para produção e projeto e desenvolvimento de equipamentos de testes são iniciadas. Nível de maturidade da tecnologia a ser fabricada deve ser pelo menos TRL7.

MRL	Descrição	Conceito
8	Capacidade em ambiente de linha piloto demonstrada; Pronto para iniciar produção em baixa escala	Projeto detalhado do sistema é concluído e suficientemente estável para iniciar uma produção de baixa escala. Procedimentos, processos Manufatura e Qualidade provaram estar sob controle num ambiente de produção de baixa escala. Ferramentas, materiais, mão-de-obra, equipamentos de testes e instalações foram provados numa linha de produção piloto e disponíveis para iniciar uma produção em baixa escala.
9	Produção em baixa escala demonstrada; Capacidade para começar produção em grande escala	As tecnologias devem estar pelo menos no nível TRL9.
10	Produção em grande escala demonstrada, incluindo práticas de manufatura enxuta	É o nível mais alto da escala. As mudanças de engenharia são poucas e geralmente associadas com a melhoria da qualidade e redução de custos. Sistemas, componentes estão em plena produção, atendendo a todos os requisitos de engenharia, performance, qualidade e confiabilidade. Todos os materiais, processos e procedimentos de fabricação, equipamentos e procedimentos de teste e inspeção são controlados por um nível de qualidade apropriado. Práticas de manufatura enxuta estão bem estabelecidas e processos de melhoria contínua são praticados.

Fonte: Extraído de Catarino (2014). Abordagem dos modelos TRL, MRL e CMMI-DEV aplicada ao desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores da cadeia produtiva espacial. São José do s Campos: INPE, 2014.



O objetivo deste estudo é investigar, analisar e comparar as cadeias produtivas para a fabricação de ônibus urbano no Brasil (Diesel e Elétrico), caracterizando os atores, redes, prontidão tecnológica/manufatureira, dinâmica de mercado e arcabouço institucional. Algumas questões orientam o estudo: Quem são os principais atores e suas estratégias? Quais as forças da transição tecnológica? Quais competências estão sendo formadas? Como resultado, observou-se uma cadeia Diesel com notáveis competências e trajetória de investimentos. Economias de escala proporcionaram a diminuição dos custos produtivos e ganhos de aprendizado, obtidos através da experiência de produção/know-how. Na cadeia de elétricos, viram-se também competências estabelecidas, sobretudo em motores elétricos e inversores. Contudo, notaram-se desafios (produção de semicondutores) e lacunas (baterias). Conclui-se que, para aproveitar oportunidades industriais, a orquestração entre os atores e governança é fundamental. Para isso, apontaram-se agendas estratégicas para a produção de ônibus elétricos que possam apoiar a coordenação desta cadeia e as competências relacionadas.